

**GABRIEL CANTEIRO DE FARIAS
LUCAS FERNANDO NEGRINI**

**DESEMPENHO MECÂNICO DE EMBALAGENS RÍGIDAS UTILIZADAS NA
INDÚSTRIA AGROQUÍMICA: ESTUDO DE COMPRESSÃO.**

Guaratinguetá - SP
2015

**GABRIEL CANTEIRO DE FARIAS
LUCAS FERNANDO NEGRINI**

**DESEMPENHO MECÂNICO DE EMBALAGENS RÍGIDAS UTILIZADAS NA
INDÚSTRIA AGROQUÍMICA: ESTUDO DE COMPRESSÃO.**

Trabalho de Graduação apresentado á
faculdade de Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista,
como parte dos requisitos para obtenção do
diploma de Graduação em Engenharia de
Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Marcelino Pereira do
Nascimento

Guaratinguetá - SP
2015

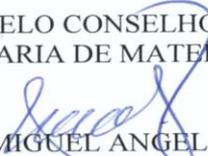
F224d	Farias, Gabriel Canteiro de Desempenho mecânico de embalagens rígidas utilizadas na indústria agroquímica: estudo de compressão / Gabriel Canteiro de Farias; Lucas Fernando Negrini – Guaratinguetá, 2015.
	59 f : il. Bibliografia: f. 58-59
	Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.
	Orientador: Prof. Dr. Marcelino Pereira do Nascimento
	1. Embalagens – Indústria 2. Materiais - Deformações 3. Polietileno I. Negrini, Lucas Fernando II. Título
	CDU 621.798

**DESEMPENHO MECÂNICO DE EMBALAGENS RÍGIDAS UTILIZADAS NA
INDÚSTRIA AGROQUÍMICA: Estudo de compressão**

**GABRIEL CANTEIRO DE FARIAS
LUCAS FERNANDO NEGRINI**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS


Prof. Dr. MIGUEL ANGEL RAMIREZ GIL
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Marcelino Pereira do nascimento
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. Antonio José Abdalla
UNESP-FEG


Eng. Bruno Antonio Sorrija
UNESP-FEG

Dezembro de 2015

DADOS CURRICULARES

Gabriel Canteiro de Farias

NASCIMENTO 19.11.1988 – PRESIDENTE PRUDENTE / SP

FILIAÇÃO Edson Soares de Farias
Rosa Maria Canteiro

2009/2015 Curso de Graduação
Engenharia de Materiais - Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”

Lucas Fernando Negrini

NASCIMENTO 07.02.1983 – ARARAQUARA / SP

FILIAÇÃO Anésio Ivo Negrini
Roseli Henriqueta Fazolaro Negrini

2010/2015 Curso de Graduação
Engenharia de Materiais - Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”

Dedicamos a Deus, nossas famílias pelo amor, carinho e apoio que sempre recebemos. Agradecemos às Repúblicas que moramos pela vivência e companhia em todos os momentos. Nossos amigos(a) pelo apoio e amizade.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradecemos a Deus, fonte da vida e da graça. Agradecemos pelas nossas vidas, nossa inteligência, nossas famílias e nossos amigos,

ao nosso orientador, *Prof. Dr. Marcelino Pereira do Nascimento* que jamais deixou de nos incentivar. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível,

aos nossos pais que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram nossos estudos,

aos amigos que estiveram ao nosso lado durante todos esses anos,

às Repúblicas onde moramos que sempre nos acolheram com alegria em todos os momentos,

à A.A.A. FEG - ATLÉTICA UNESP GUARATINGUETÁ por todo aprendizado oferecido e os amigos que fizemos,

a todos que tivemos o prazer de conhecer durante nossos estágios, pela amizade, incentivo e aprendizado.

“Cada sonho que você deixa pra trás, é um pedaço do seu futuro que deixa de existir.”

Jobs S.

FARIAS G. C.; NEGRINI L. F. **Desempenho mecânico de embalagens rígidas utilizadas na indústria agroquímica**: estudo de compressão. 2015. 59 p. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Materiais) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

A população mundial vem crescendo em escalas exponenciais, com isso a demanda por alimentos cresce de forma significativa. O uso de defensivos agrícolas é tido como uma saída para atender a demanda por alimentos e aumentar a eficiência e produtividade do setor agropecuário. A BASF S.A em parceria com fornecedores de embalagens representam um cenário marcante no mercado brasileiro no setor de defensivos agrícolas.

Em 2014, o Departamento de Embalagens Agro da empresa BASF, identificou em seu processo produtivo certa deformação de suas embalagens rígidas durante o processo de envase de defensivos agrícolas. Esse fenômeno possivelmente é causado pela baixa resistência á compressão que as embalagens utilizadas apresentam. A fim de eliminar a deformação das embalagens rígidas oriundas da etapa de envase, será realizado um estudo em conjunto com o fornecedor JACTO UNIPAC, cujo problema em linha ocorria com maior frequência. O estudo consiste em identificar a resistência mecânica das embalagens rígidas, padronizar um valor de resistência á compressão em que a embalagem não se deforme após a etapa de envase. Este estudo apresentará uma investigação através de experimentos aliados a conceitos teóricos, a fim de determinar as possíveis causas para o surgimento desse fenômeno. Ao final do estudo, será apresentada uma solução para eliminar ou reduzir ao máximo o problema de deformação das embalagens.

PALAVRAS-CHAVE: Embalagem. Polietileno. Compressão. Deformação.

FARIAS G. C.; NEGRINI L. F. **Packaging mechanic performance rigid used in the agrochemical industry:** Compression study. 2015 59 p. Monograph (Undergraduate Work in Materials Engineering) - Faculty of Engineering Guaratinguetá Campus, Universidade Estadual Paulista, Guaratingueta, 2015

ABSTRACT

The world population is growing at exponential scales, thus the demand for food grows significantly. The use of pesticides is seen as a way to meet the demand for food and increase the efficiency and productivity of the agricultural sector. BASF SA in partnership with packaging suppliers represent a remarkable scene in the Brazilian market in the agrochemicals sector.

In 2014, the Department of Agro from BASF Packaging, identified in its production process certain deformation of its rigid packaging during the filling process of pesticides. This phenomenon is probably caused by the low resistance to compression that the package is used. In order to eliminate the deformation of rigid packaging arising from the filling step, a study will be conducted in conjunction with the supplier JET UNIPAC whose on line problems occurred more frequently. The study is to identify the strength of the rigid containers standardize a compression resistance value at which the package is not deformed after the filling step. This study will present an investigation through experiments combined with theoretical concepts in order to determine possible causes for the emergence of this phenomenon. At the end of the study, a solution to eliminate or reduce to the maximum the packaging deformation problem appears.

KEYWORDS: Packaging. Polyethylene. Compression. Deformation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Crescimento populacional.	13
Figura 2 - Propriedades apresentadas pelos polímeros variando de forma caracteristicamente assintótica com o aumento da sua massa molar.	18
Figura 3 – Molécula do gás etileno e unidade de repetição do polietileno.	19
Figura 4 – Vista em perspectiva e de planta da célula unitária do polietileno.	20
Figura 5 – Representação sistemática da estrutura de PEAD.....	22
Figura 6 – Representação esquemática das possibilidades de distribuição de massa em uma embalagem soprada.	25
Figura 7 – Pontos de verificação de espessura para análise de distribuição de massa em embalagens de 5L.	26
Figura 8 – Representação das etapas de produção por sopro de embalagens monocamadas...	27
Figura 9 – Organograma de funcionamento do InpEV.	30
Figura 10 – Pontos de Mapeamento de Espessuras.	35
Figura 11 – Informações das posições no teste na lateral maior.	37
Figura 12 – Informações das posições no teste na lateral menor.	37
Figura 15 – Informações do suporte utilizado.	38
Figura 14 – Resultado Ensaio de Compressão Fornecedor 1 PEAD – GF4950HS.	44
Figura 15 – Resultado Ensaio de Compressão Fornecedor 2 PEAD – GF4950HS.	46
Figura 16 – Resultado Ensaio de Compressão Unipac Mono – GF4950HS.	48
Figura 17 – Resultado Ensaio de Compressão Unipac PAED – GF4950HS – Nova distribuição de massa.....	52
Figura 18 – Resultado Ensaio de Compressão Unipac Mono – HS5608 – Resina alternativa	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades dos polietilenos devido à densidade.....	21
Tabela 2 – Propriedades térmicas, físicas, elétricas e mecânicas do PEAD.	23
Tabela 3 – Quantidade e modelo do material utilizado de cada fornecedor.....	31
Tabela 4 – Propriedades de Controle Resina GF4950HS.....	32
Tabela 5 – Propriedades de Controle Resina HS5608.....	33
Tabela 6 – Propriedades de Referência de Placada Resina HS5608.	33
Tabela 7 – Mapeamento de espessura, amostras PEAD (GF4950HS).....	39
Tabela 8 – Pontos críticos, amostras PEAD (GF4950HS).....	40
Tabela 9 – Pontos de interferências, amostras PEAD (GF4950HS).	40
Tabela 10 – Cronograma de ensaios de compressão resina vigente (GF4950HS).....	43
Tabela 11 – Ensaio de Compressão Fornecedor 1 PEAD – GF4950HS.	44
Tabela 12 – Ensaio de Compressão Fornecedor 2 PEAD – GF4950HS.	46
Tabela 13 – Ensaio de Compressão Unipac Mono – GF4950HS.....	47
Tabela 14 – Mapeamento de espessura, amostras PEAD (GF4950HS- Nova Distribuição de Massa).....	49
Tabela 15 – Pontos críticos e de interferência com a linha produtiva, amostras PEAD (GF4950HS – Nova distribuição de massa).	50
Tabela 16 – Cronograma de ensaios de compressão resina vigente (GF4950HS – Nova distribuição de massa).	51
Tabela 17 – Ensaio de Compressão Unipac PEAD – GF4950 – Nova distribuição de massa.	52
Tabela 18 – Mapeamento de espessura, amostras PEAD (HS5608 – Resina alternativa).	53
Tabela 19 – Pontos críticos e de interferência com a linha produtiva, amostras PEAD (HS5608 – Resina alternativa).....	54
Tabela 20 – Cronograma de ensaios de compressão resina alternativa (HS5608).....	55
Tabela 21 – Ensaio de Compressão Unipac PEAD – HS5608 – Resina alternativa.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EVOH	Copolímero de etileno e álcool vinílico
FAO	Food and Agriculture Organization
MDA	Ministério do Desenvolvimento Agrário
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PEMD	Polietileno de Media Densidade
PIB	Produto Interno Bruto
SAF	Secretaria de Agricultura Familiar

SUMÁRIO

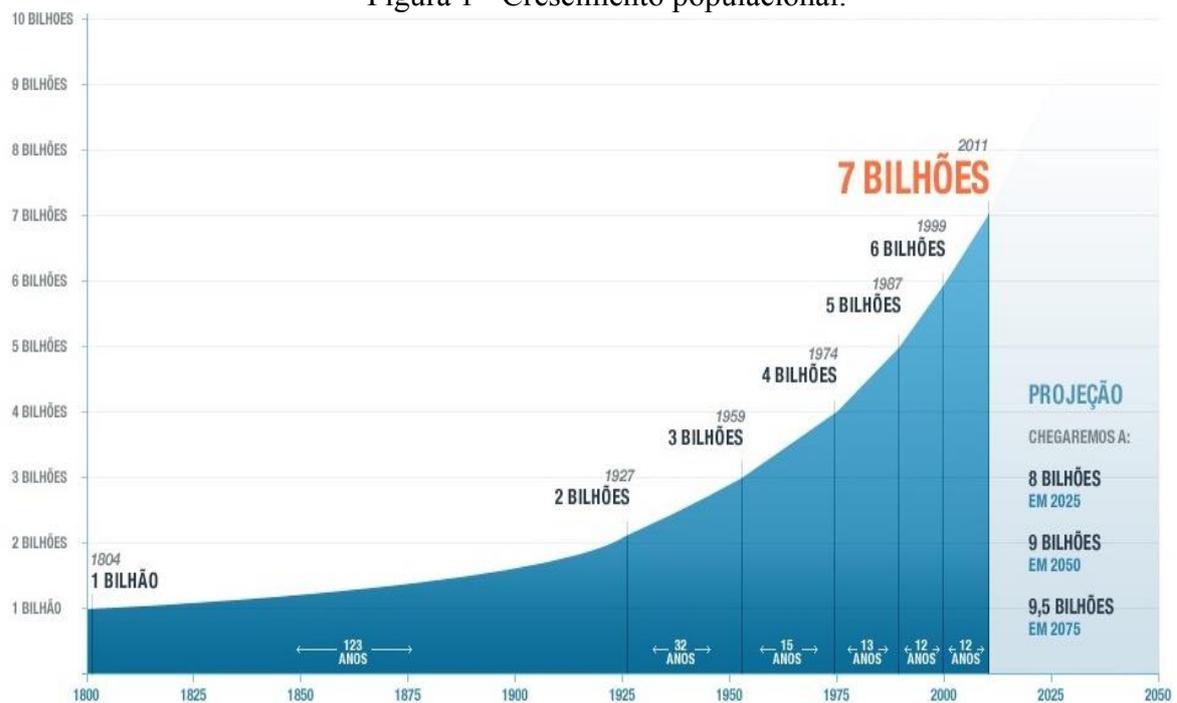
1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	13
1.2	OBJETIVO	16
1.3	JUSTIFICATIVA	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	POLÍMEROS	17
2.2	PLÁSTICOS	18
2.3	TERMOPLÁSTICOS	19
2.4	POLIETILENOS (PE)	19
2.5	POLIETILENOS DE ALTA DENSIDADE (PEAD).....	22
2.6	DISTRIBUIÇÃO DE MASSA NAS EMBALAGENS	25
2.7	PROCESSO DE PRODUÇÃO POR SOPRO DE EMBALAGENS MONOCAMADA (MONO)	26
2.8	SISTEMA DE RECICLAGEM	27
2.8.1	História.....	27
2.8.2	Filosofia de atuação.....	28
2.8.3	Missão.....	28
2.8.4	Visão	28
2.8.5	Valores e princípios.....	29
2.8.6	Recursos Financeiros	29
2.8.7	Organograma	30
3	MATERIAIS E METODOS	31
3.1	MATERIAIS	31
3.2	MÉTODOS	34
3.2.1	Mapeamento de espessura.....	34
3.2.2	Ensaio de compressão	36
4	ANALISE E RESULTADOS.....	39
4.1	ANALISE DIMENSIONAL, AMOSTRAS PEAD RESINA VIGENTE (GF4950HS)	39
4.2	ANALISE DE COMPRESSÃO, AMOSTRAS PEAD RESINA VIGENTE (GF4950HS).	43
4.3	ANALISE DIMENSIONAL COM NOVA DISTRIBUIÇÃO DE MASSA, AMOSTRAS PEAD (GF4950HS).	48
4.4	ANALISE DE COMPRESSÃO COM NOVA DISTRIBUIÇÃO DE MASSA, AMOSTRAS PEAD (GF4950HS)	51
4.5	ANALISE DIMENSIONAL COM NOVA DISTRIBUIÇÃO DE MASSA, AMOSTRAS PEAD (GF4950HS)	52
4.6	ANALISE DE COMPRESSÃO COM RESINA ALTERNATIVA, AMOSTRAS PEAD (HS5608).....	54
5	CONCLUSÃO.....	57
	REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O planeta já abriga sete bilhões de pessoas. Alimentar essa população é possível, dizem os especialistas, mas é necessário aumentar a produtividade de solos e sementes, além de reduzir o consumo de carne. Como a população do planeta cresce em aproximadamente 83 milhões de pessoas por ano. Caso essa tendência se mantenha, em 2050 já haverão nove bilhões de pessoas no mundo, e até o final do século serão mais de 10 bilhões. A Figura 1 mostra a razão exponencial do crescimento populacional para os próximos 50 anos.

Figura 1 - Crescimento populacional.



Fonte: (FREITAS, 2010)

Para garantir a alimentação de uma população dessa magnitude, seria necessário pelo menos duplicar, se não triplicar, a produção agrícola nos próximos 40 anos. O enorme crescimento da produção agrícola nas últimas décadas deve-se 80% ao aumento da

produtividade. Apenas 20% é o resultado da ampliação das áreas agricultáveis. No futuro, será preciso investir ainda mais no aumento de produtividade para satisfazer as crescentes necessidades humanas de alimento. O solo será, cada vez, um fator limitante para a produção de gêneros alimentícios. No momento, 40% da superfície terrestre é usados para a agricultura. Uma área de 16 milhões de quilômetros quadrados é dedicada aos cereais; 30 milhões de quilômetros quadrados pastos (KINKARTZ, at. 2012).

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), apenas um terço da superfície teoricamente agricultável é cultivadas de fato. Entretanto, até mesmo por questões de proteção ao clima global, não se pode considerar a transformação de florestas e mangues tropicais em áreas de cultivo. A alternativa que fica é o aumento da produtividade, comprometida e freada por diversos fatores. Em primeiro lugar encontram-se dois elementos encarecedores água e energia. A agricultura consome as maiores quantidades de água em todo o mundo. Podemos citar também fatores que influenciam diretamente o desenvolvimento de melhores espécies vegetais e melhores métodos de plantio, com isso já seria possível aumentar em 60% a produção global de alimentos. Melhores espécies significam cereais e verduras especialmente produtivos e resistentes às condições climáticas rigorosas (FAO, at. 2009).

Como fatores importantes para alcançar níveis significativos da produtividade no setor agropecuário, podemos citar o avanço das tecnologias e biotecnologias, qualidade e variedades. Os responsáveis diretos e indiretos por tais progressos são empresas que fornecem tais elementos. Setores da economia que fazem parte do agronegócio, como bancos que fornecem créditos, indústria de insumos agrícolas (fertilizantes, herbicidas, inseticidas, sementes selecionadas para plantio entre outros), indústrias de embalagens agrícolas, indústria de tratores e peças, lojas veterinárias e laboratórios que fornecem vacinas e rações para a pecuária de corte e leiteira, isso na primeira etapa produtiva. Posteriormente a esse processo são agregados novos integrantes do agronegócio que correspondem às agroindústrias responsáveis pelo processamento da matéria-prima oriunda da agropecuária. A agroindústria realiza a transformação dos produtos primários da agropecuária em subprodutos que podem ser inseridos na produção de alimentos, como os frigoríficos, indústria de enlatados, laticínios, indústria de couro, biocombustíveis, produção têxtil entre muitos outros (FREITAS, at 2010).

A produção agropecuária está diretamente ligada aos alimentos, processados ou não, que fazem parte do cotidiano, porém essa produção é mais complexa, isso por que muitos dos itens que compõe a vida são oriundos dessa atividade produtiva, madeira dos

móveis, roupas de algodão, essência dos sabonetes e grande parte dos remédios têm origem nos agronegócios (FREITAS, at 2010).

A agroindústria, que corresponde à fusão entre a produção agropecuária e a indústria, possui uma interdependência com diversos ramos da indústria, pois necessitam de embalagens, insumos agrícolas, irrigação, máquinas e implementos (FREITAS, at 2010).

Esse conjunto de interações dá à atividade alto grau de importância econômica para o Brasil. No ano de 1999 somente a agropecuária respondeu por 9% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, entretanto, se enquadrarmos todas as atividades (comercial, financeira e serviços envolvidos) ligadas ao setor de agronegócios esse percentual se eleva de forma significativa com a participação da agroindústria em aproximadamente 40% do PIB total. Esse processo também ocorre nos países centrais, nos quais a agropecuária responde, em média, por 3% do PIB, mas o agronegócio ou agrobusiness representam um terço do PIB. Em suma, o agronegócio ocupa um lugar de destaque na economia mundial, principalmente nos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, pois garante o sustento alimentar das pessoas e sua manutenção, além de contribuir com o crescimento da exportação e do país que o executa (FREITAS, at 2010).

O Brasil é considerado uma grande potência na produção de grãos, fibras, carnes, biocombustíveis e na geração e difusão de conhecimento e tecnologia nesse importante setor. A competitividade do agronegócio brasileiro é revelada por meio da tecnologia empregada no campo; da eficiência da produção corporativa; da organização de pequenos e médios produtores em cooperativas e associações; do sistema de crédito rural oficial; e da presença de empresas nacionais e globais de grande porte. Representa um dos mais importantes exportadores globais de *commodities* agrícolas, como a soja, milho, café, laranja, açúcar e carnes (bovina, suína e de aves). Além da consolidada agricultura empresarial, dados da Secretaria de Agricultura Familiar (SAF) e do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) apontam que 70% dos alimentos que chegam à mesa dos brasileiros são provenientes da agricultura familiar (MATOS, at 2012).

Diante desse cenário, o agronegócio nacional apresenta sólida capacidade potencial para a expansão do conhecimento e a replicação de modelos nas políticas de cooperação internacional, considerando-se os aspectos de sustentabilidade no âmbito ambiental, social e econômico e as especificidades de cada país (MATOS, at 2012).

Desempenhando um papel de extrema importância no mercado de defensivos agrícolas, contribuindo com o aumento da produtividade e novas tecnologias, na cidade de

Guaratinguetá, interior do estado de São Paulo, situada no Vale do Paraíba, a empresa Agroquímica BASF S.A tem presença marcante no mercado brasileiro no setor de defensivos agrícolas.

A empresa BASF S.A, em parceria com fornecedores de embalagens, vem cada vez mais tomando ações para garantir qualidade, demanda e inovação neste mercado. Em 2014, em suas linhas produtivas, foi identificada uma oportunidade de melhoria contínua que geraria índices menores de problemas. O fenômeno ocorre durante a etapa de envase, que devido à baixa resistência mecânica das embalagens ocorre certa deformação que por sua vez gera grande dificuldade em sua movimentação na linha de produção, podendo até ocasionar paradas de linhas. Este estudo visa apresentada uma solução para eliminar ou reduzir ao máximo o problema de deformação das embalagens, a partir de melhoras nas propriedades mecânicas.

1.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo detalhado para identificar os motivos da baixa resistência mecânica apresentada nas embalagens rígidas de 5L utilizadas no processo produtivo de defensivos agrícolas e apresentar propostas que possam solucionar este tipo de problema.

1.3 JUSTIFICATIVA

Foi constatada pelo Departamento de Desenvolvimento da empresa BASF S.A uma anomalia nas embalagens de 5L utilizadas em suas linhas produtivas, que ocasiona problemas durante as etapas produtivas levando a queda de desempenho da produção, custos adicionais e prejuízos.

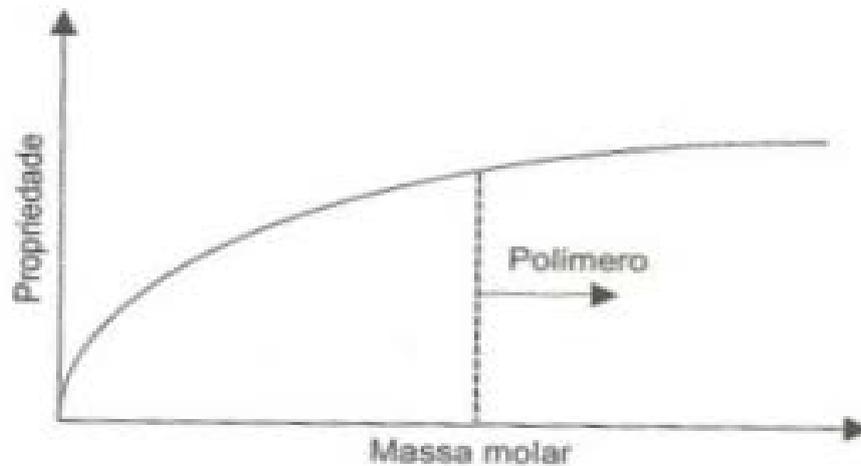
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 POLÍMEROS

A palavra polímero origina-se do grego *poli* (muitos) e *mero* (unidade de repetição). Assim, um polímero é uma macromolécula composta por muitas (dezenas de milhares) de unidades de repetição denominadas meros, ligadas por uma ligação covalente. A matéria prima para a produção de um polímero é um monômero (estrutura química), do número médio de meros por cadeia e do tipo de ligação covalente, poderemos dividir os polímeros em três grandes classes: Plásticos, Borrachas e Fibras (CANEVAROLO JR., at 2010).

Muitas propriedades físicas são dependentes do comprimento da molécula, isto é, sua massa molar. Como polímeros normalmente envolvem uma larga faixa de valores de massa molar é de se esperar grande variação em suas propriedades. Alterações no tamanho da molécula, quando esta é pequena, provocam grandes mudanças nas suas propriedades físicas. Estas alterações tendem a ser menores com o aumento do tamanho da molécula, sendo que para polímeros as diferenças ainda existem, mas são pequenas. Isso é vantajosamente usado, produzindo-se comercialmente vários tipos (grades) de polímeros, para atender as necessidades particulares de uma dada aplicação ou técnica de processamento. A Figura 2 apresenta de forma esquemática a variação de uma propriedade física geral (por exemplo, T_g) com o aumento da massa molar. A variação é assintótica (crescente, como apresentado, ou decrescente) tendendo para um valor que normalmente é o usado para referenciamento (CANEVAROLO JR., at 2010).

Figura 2 - Propriedades apresentadas pelos polímeros variando de forma caracteristicamente assintótica com o aumento da sua massa molar.



Fonte: (CANEVAROLO JR., 2010)

Nem todos os compostos de baixa massa molar geram polímeros. Para sua síntese, é necessário que pequenas moléculas (monômeros) se liguem entre si para formar a cadeia polimérica. Assim, cada monômero deve ser capaz de se combinar com outros dois monômeros, no mínimo, para ocorrer a reação de polimerização. O número de pontos reativos por molécula é chamado de funcionalidade. Portanto, o monômero deve ter pelo menos funcionalidade 2. A bifuncionalidade pode ser obtida com a presença de grupos funcionais reativos e/ou dupla ligações reativas (CANEVAROLO JR., at 2010).

2.2 PLÁSTICOS

Plástico, tem seu nome originário do grego plásticos (capaz de ser moldado), é um material de origem natural ou sintética, obtido a partir dos derivados de petróleo ou de fontes renováveis como a cana-de-açúcar ou o milho. Fazem parte da família dos polímeros que são formados por macromoléculas caracterizadas pela repetição múltipla de uma ou mais unidades químicas simples, os monômeros, sendo unidas entre si por reações químicas chamadas de reações de polimerização.

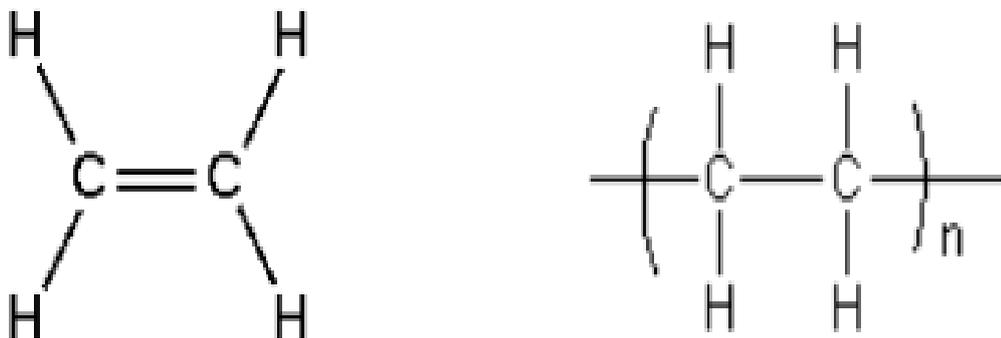
2.3 TERMOPLÁSTICOS

Os termoplásticos são aqueles que podem ser moldados várias vezes por ação de temperatura e pressão, por isso são recicláveis. Vêm sendo utilizados há muitos anos em substituição a diversos tipos de materiais como o aço, o vidro e a madeira devido às suas características de baixo peso, baixo custo, elevadas resistências mecânica e química, facilidade de aditivação e ainda por serem 100% recicláveis. Os tipos de termoplásticos mais consumidos atualmente são os Polietilenos (PE), Polipropilenos (PP), Poliestirenos (PS), Poliamida (Náilon).

2.4 POLIETILENOS (PE)

Polietilenos são polímeros olefínicos obtidos através da polimerização do gás etileno. A polimerização acontece na presença de catalizadores sobre determinadas condições de pressão e temperatura, apresentam macromoléculas com ligações intermoleculares tipo força de Van de Walls como representa a Figura 3 (D. FELDMAN, A. BARBALATA, at 1996).

Figura 3 – Molécula do gás etileno e unidade de repetição do polietileno.



Fonte: (D. FELDMAN, A. BARBALATA, 1996)

Polímeros parcialmente cristalino, flexível, cujas propriedades são influenciadas pela quantidade relativa das fases amorfa e cristalina (COUTINHO, at 2003). A célula unitária do

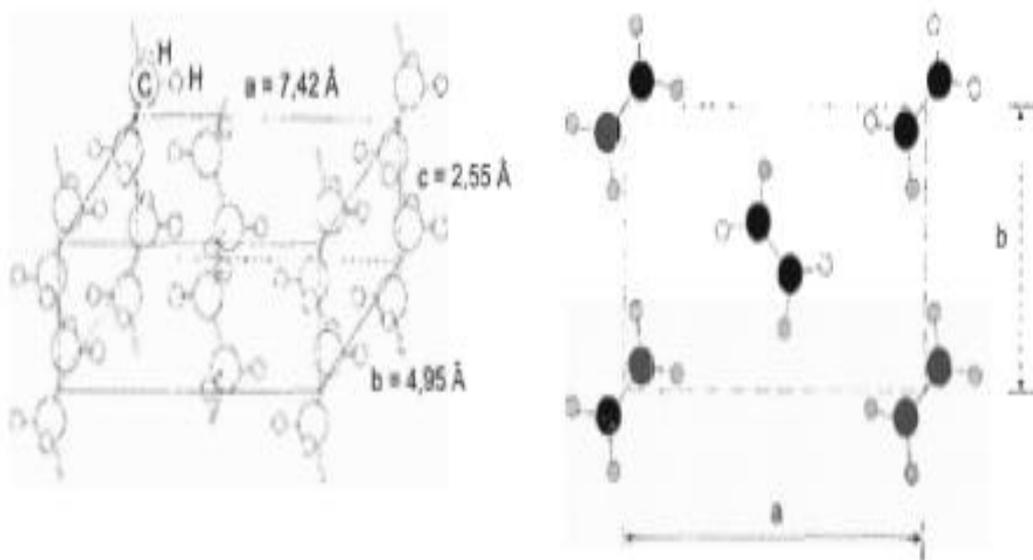
polietileno, mostrada na Figura 4, é ortorrômbica (paralelepípedo) com parâmetro de rede como apresentados abaixo (as constantes a e b são dependentes da temperatura) (CANEVAROLO JR., at 2010).

Os polietilenos são inertes face à maioria dos produtos químicos comuns, devido à sua natureza parafínica, seu alto peso molecular e sua estrutura parcialmente cristalina. Em temperaturas abaixo de 60 °C são parcialmente solúveis em todos os solventes. Entretanto, dois fenômenos podem ser observados (NEVES, at. 1999):

- Interação com solventes, sofrendo inchamento, dissolução parcial, aparecimento de cor ou, com o tempo, completa degradação do material (NEVES, at. 1999).

- Interação com agentes tensoativos, resultando na redução da resistência mecânica do material por efeito de tenso-fissuramento superficial (NEVES, at. 1999).

Figura 4 – Vista em perspectiva e de planta da célula unitária do polietileno.



Fonte: (CANEVAROLO JR., 2010)

Podemos caracterizar de forma geral os polietilenos como resistentes à maioria dos produtos químicos, com exceção dos ácidos fortemente oxidantes, halogênios livres e certas cetonas.

É um dos termoplásticos mais consumidos, devido às várias vantagens:

- Baixo custo;
- Boa processabilidade;
- Boas propriedades elétricas;
- Resistência química;

E apresentam algumas desvantagens:

- Baixo ponto de amolecimento;
- Baixa resistência à tração;
- Alta permeabilidade a gases;
- Baixa resistência ao risco e a oxidação.

Também podem ser classificados de acordo com a seguinte terminologia:

LDPE – Polietileno Baixa Densidade;

MDPE – Polietileno Média Densidade;

HDPE – Polietileno Alta Densidade

A Tabela 1 apresenta as propriedades de cada tipo de polietileno de acordo com a classificação acima.

Tabela 1 – Propriedades dos polietilenos devido à densidade.

Propriedades	LDPE	MDPE	HDPE
Densidade (g/cm ³)	0,910-0,925	0,926-0,940	0,941-0,965
Resistência a Tração (psi)	600-2300	1200-3500	3100-5500
Alongamento (%)	90,0-800,0	50,0-600,0	20,0-1000,0
Resistencia Impacto Izod (ft.lb/in)	Não Quebra	0,5-16,0	0,5-20,0
Dureza Shore D	40-46	50-60	60-70
Pto. Amolecimento Vicat (°C)	80-100	98-120	110-125

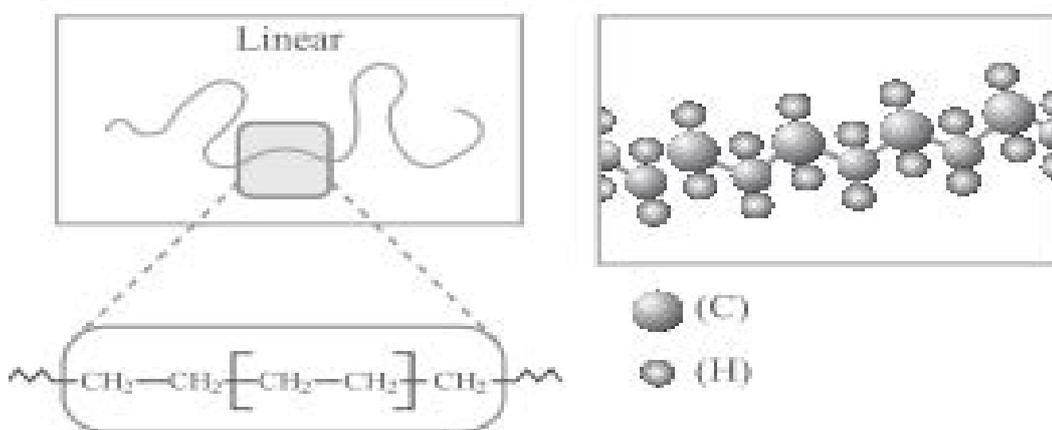
Fonte: (CANEVAROLO JR., 2010)

2.5 POLIETILENOS DE ALTA DENSIDADE (PEAD)

A principal diferença entre o processo de polimerização de etileno sob baixa pressão e o processo sob alta pressão está no tipo de sistema iniciador usado. Os iniciadores (catalisadores) utilizados para polimerizar sob pressões próximas à atmosférica foram descobertos por Ziegler e Natta, graças aos seus estudos sobre compostos organometálicos, particularmente organoalumínio (MILER & BRISTON, at. 1965). Nos processos industriais de produção, o peso molecular do polímero é controlado na faixa de 50.000 a 100.000 (Mn) por processo de transferência de cadeia, geralmente com hidrogênio. (HENGLEIN, at. 1977)

O polietileno linear é altamente cristalino (acima de 90%), pois apresenta um baixo teor de ramificações. Esse polímero contém menos que uma cadeia lateral por 200 átomos de carbono da cadeia principal conforme Figura 5, sua temperatura de fusão cristalina é aproximadamente 132 °C e sua densidade está entre 0,95 e 0,97 g/cm³. O peso molecular numérico médio fica na faixa de 50.000 a 250.000 (BILLMEYER, at 1984) (ODIAN, at. 1991).

Figura 5 – Representação sistemática da estrutura de PEAD.



Fonte: (GUITIÁN, 1995)

A linearidade das cadeias e consequentemente a maior densidade do PEAD fazem com que a orientação, o alinhamento e o empacotamento das cadeias sejam mais eficientes; as forças intermoleculares (Van der Waals) possam agir mais intensamente, e, como consequência, a cristalinidade seja maior que no caso do PEBD. Sendo maior a cristalinidade, a fusão poderá ocorrer em temperatura mais alta (COUTINHO, at 2003).

As características mecânicas e elétricas do polietileno de alta densidade são apresentadas na Tabela 2. Enquanto as propriedades elétricas são pouco afetadas pela densidade e pelo peso molecular do polímero, as propriedades mecânicas sofrem uma forte influência do peso molecular, do teor de ramificações, da estrutura morfológica e da orientação (MILES, at. 1965).

Tabela 2 – Propriedades térmicas, físicas, elétricas e mecânicas do PEAD.

Propriedades	Altamente linear	Baixo grau de ramificação
Densidade (g/cm ³)	0,962 - 0,968	0,950 - 0,960
Índice de refração	1,54	1,53
Temperatura de Fusão (°C)	128 - 235	125 - 132
Temperatura de fragilidade (°C)	-140 - -70	-140 - -70
Condutividade térmica (W/(m.K))	0,46 - 0,52	0,46 - 0,44
Calor de combustão (kJ/g)	46,0	46,0
Constante dielétrica a 1 MHz	2,3 - 2,4	2,3 - 2,4
Resistividade superficial (Ω)	1,00E+16	1,00E+16
Resistividade volumétrica (Ω .m)	1017 - 1018	1017 - 1018
Resistência dielétrica (kV/mm)	45 - 55	45 - 55
Ponto de escoamento (M)	28 - 40	25 - 35
Módulo de tração (MP)	900 - 1200	800 - 900
Resistência à tração (Mpa)	25 - 45	20 - 40
Alongamento no ponto de escoamento (%)	5 - 8	10 - 12
Alongamento no ponto de ruptura (%)	50 - 900	50 - 1200
Dureza Brinell (Mpa)	60 - 70	50 - 60
Dureza Rockwell (Mpa)	R55, D60 - D70	-
Resistência ao cisalhamento (MP)	20 - 38	20 - 36

Fonte: (GUITIÁN, 1995)

O peso molecular tem influência sobre as propriedades do PEAD, principalmente devido ao seu efeito na cinética de cristalização, cristalinidade final e ao caráter morfológico da amostra. O efeito do peso molecular depende de sua extensão. O PEAD de baixo peso molecular é frágil e quebra sob baixas deformações, sem desenvolver

“*pescoço*” (*neck*) no ensaio de tração. Na faixa de peso molecular entre 80.000 e 1.200.000, típica para PEAD comercial, sempre ocorre formação de “pescoço”. Além disso, o peso molecular também exerce influência sobre a resistência ao impacto. Amostras com baixo peso molecular são frágeis, porém com o aumento do peso molecular, a resistência ao impacto aumenta e é bastante alta para o PEAD com peso molecular na faixa de 5×10^5 a 10^6 (COUTINHO, at 2003). 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.

A orientação das cadeias poliméricas exerce um forte efeito sobre as propriedades mecânicas do polímero. Materiais fabricados com PEAD altamente orientado são aproximadamente dez vezes mais resistentes do que os fabricados a partir do polímero não orientado, pois a orientação aumenta o empacotamento das cadeias e conseqüentemente aumenta a rigidez do polímero (COUTINHO, at 2003).

Aplicações O PEAD é utilizado em diferentes segmentos da indústria de transformação de plásticos, abrangendo os processamentos de moldagem por sopro, extrusão e moldagem por injeção. Pelo processo de injeção, o PEAD é utilizado para a confecção de baldes e bacias, bandejas para pintura, banheiras infantis, brinquedos, conta-gotas para bebidas, jarros d'água, potes para alimentos, assentos sanitários, bandejas, tampas para garrafas e potes, engradados, bóias para raias de piscina, caixas d'água, entre outros. Enquanto que pelo processo de sopro destaca-se a utilização na confecção de bombonas, tanques e tambores de 60 a 250 litros, onde são exigidas principalmente resistência à queda, ao empilhamento e a produtos químicos, frascos e bombonas de 1 a 60 litros, onde são embalados produtos que requeiram alta resistência ao fissuramento sob tensão. Também é utilizado na confecção de frascos que requeiram resistência ao fendilhamento por tensão ambiental, como: embalagens para detergentes, cosméticos e defensivos agrícolas, tanques para fluido de freio e outros utilizados em veículos e na confecção de peças onde é exigido um produto atóxico, como brinquedos. Por extrusão, é aplicado em isolamento de fios telefônicos, sacos para congelados, revestimento de tubulações metálicas, polidutos, tubos para redes de saneamento e de distribuição de gás, emissários de efluentes sanitários e químicos, dutos para mineração e dragagem, barbantes de costura, redes para embalagem de frutas, fitas decorativas, sacos para lixo e sacolas de supermercados (IPIRANGA; POLIALDEN, at 2000).

Algumas indústrias brasileiras já estão explorando um novo nicho do mercado, um tipo (grade) específico de polietileno de alta densidade para moldagem por sopro de

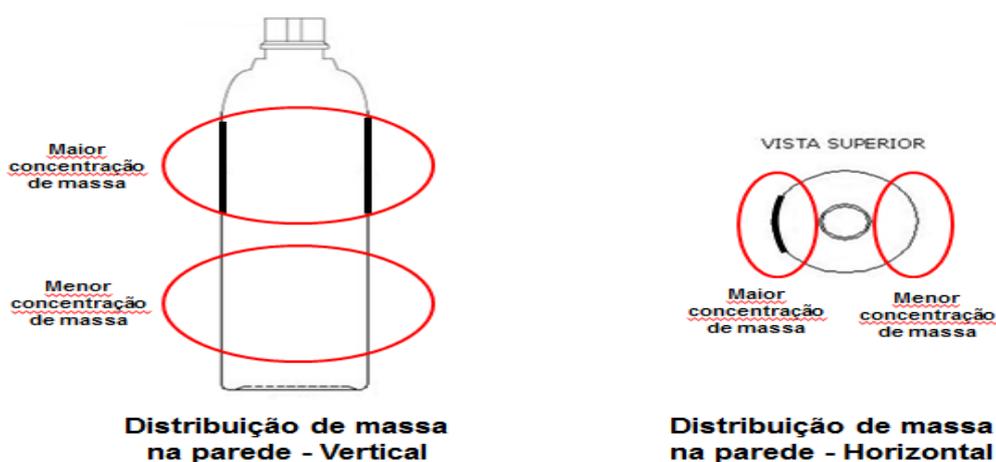
tanques de combustível e outro para “containeres” de mil litros (COUTINHO, at 2003). O PEAD e o PEBD têm muitas aplicações em comum, mas em geral, o PEAD é mais duro e resistente e o PEBD é mais flexível e transparente. Um exemplo da relação de dureza e flexibilidade está no fato de que o PEAD é utilizado na fabricação de tampas com rosca (rígidas) e o PEBD na de tampas sem rosca (flexíveis).

2.6 DISTRIBUIÇÃO DE MASSA NAS EMBALAGENS

A distribuição de massa no corpo da embalagem está diretamente relacionada com o fenômeno de perda de resistência mecânica e, logicamente, com a deformação ocasionada pela baixa resistência das embalagens em pontos específicos. Durante o processo de produção de embalagens por extrusão e sopro, a concentração de massa varia em função de diversas variáveis, desde a temperatura, passando por ajustes do equipamento e chegando até em propriedades da matéria-prima.

Quando ocorre má distribuição de massa na parede, uma área fica mais reforçada, enquanto outra recebe menos material, ficando menos reforçada e, assim, sujeita a deformação mecânica na presença do vácuo. A Figura 6 mostra um desenho esquemático de como pode ocorrer a variação de massa em uma embalagem soprada e a Figura 7 os pontos de verificação de espessura para embalagens de 5L.

Figura 6 – Representação esquemática das possibilidades de distribuição de massa em uma embalagem soprada.



Fonte: (O autor, 2015)

Figura 7 – Pontos de verificação de espessura para análise de distribuição de massa em embalagens de 5L.



Fonte: (O autor, 2015)

2.7 PROCESSO DE PRODUÇÃO POR SOPRO DE EMBALAGENS MONOCAMADA (MONO)

A produção de embalagens monocamada pelo processo de moldagem por sopro é a terceira maior técnica de processamento para termoplásticos. Através dessa técnica específica, o processo de dar forma ao produto é muito similar à técnica de formação do vidro, exceto pelas temperaturas de moldagem relativamente baixas. A moldagem por sopro é frequentemente usada para se produzir recipientes de plástico, dentre eles, vários produtos comerciais, incluindo peças automotivas, as quais podem ser economicamente fabricadas por este método, pode-se observar suas etapas conforme a Figura 8.

A moldagem por sopro é um processo de transformação utilizado para se produzir artigos ocos fechados ou com gargalos, tais como garrafas, brinquedos e recipientes diversos. Este processo de transformação pode estar ligado sequencialmente a uma extrusora ou a uma máquina injetora. Uma seção de um tubo polimérico moldado (parison) é extrudado para dentro de um molde aberto. Pela ação de ar comprimido ou vapor, o plástico é então soprado para dentro da configuração do molde. Esta técnica é amplamente usada para a manufatura de garrafas e artigos similares.

Figura 8 – Representação das etapas de produção por sopro de embalagens monocamadas.



Fonte: (O autor, 2015)

2.8 SISTEMA DE RECICLAGEM

2.8.1 História

A criação do InpEV (Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias) resultou de um longo processo de amadurecimento sobre a questão da responsabilidade socioambiental e a sustentabilidade da agricultura brasileira. Desde que os defensivos agrícolas passaram a ser utilizados em larga escala no país, nos anos 1960, um conjunto de leis buscou regulamentar sua aplicação, sem, no entanto, dispor sobre a destinação das embalagens pós-consumo. Sem alternativas, o agricultor valia-se de prerrogativas como enterrá-las, queimá-las e até descartá-las em rios ou na própria lavoura, colocando em risco o meio ambiente. E também havia quem reutilizasse as embalagens para transportar água e alimentos, atentando, assim, contra a própria saúde (InpEV, at. 2013).

No fim da década de 1980 essa situação fez com que os diversos envolvidos na cadeia agrícola buscassem soluções adequadas. O debate culminou com a instituição da Lei Federal 9.974/00, promulgada em junho de 2000 e regulamentada em 2002, que atribuiu aos usuários de defensivos agrícolas a responsabilidade de devolver as embalagens vazias aos comerciantes que, por sua vez, teriam de encaminhá-las aos fabricantes. No entanto, para que esse processo fosse viável, era preciso criar uma entidade que integrasse todos os elos da

cadeia e gerenciasse o sistema. A resposta foi a criação do InpEV, fundado oficialmente em 14 de dezembro de 2001(InpEV, at. 2013).

Hoje o Brasil destaca-se como um dos maiores produtores mundiais de alimentos, fibras e bioenergia, o que evidencia a importância do setor agrícola e, nele, do sistema de destinação das embalagens de defensivos agrícolas pós-consumo. Fazer frente a esse cenário tem sido o principal desafio do InpEV (InpEV, at. 2013).

2.8.2 Filosofia de atuação do InpEV

O InpEV é regido por um estatuto social que reitera a necessidade de atenção aos princípios da legalidade, impessoalidade, moralidade e igualdade. Para gerir o Sistema Campo Limpo, o instituto entende que é preciso ir além do gerenciamento operacional, dando apoio e orientação à indústria, aos canais de distribuição e aos agricultores no cumprimento das responsabilidades definidas pela legislação, além de promover a educação ambiental referente às embalagens vazias de defensivos agrícolas (InpEV, at. 2013).

2.8.3 Missão do InpEV

Contribuir para a preservação do meio ambiente e do Sistema Campo Limpo, por meio da gestão autossustentável da destinação final de embalagens vazias de produtos fitossanitários e da prestação de serviços na área de resíduos sólidos, com envolvimento e integração de todos os elos da cadeia produtiva agrícola (InpEV, at. 2013).

2.8.4 Visão do InpEV

Ser reconhecido mundialmente como centro de excelência na destinação final de embalagens vazias de produtos fitossanitários, referência na prestação de serviços na área de resíduos sólidos e autossustentável no Brasil (InpEV, at. 2013).

2.8.5 Valores e princípios do InpEV

- Atitude integradora
- Inovação
- Integridade
- Responsabilidade socioambiental
- Segurança

2.8.6 Recursos Financeiros do InpEV

Como representante da indústria do setor agroquímico, criado para cumprir a responsabilidade de dar a correta destinação final às embalagens vazias de seus produtos, o InpEV tem suas atividades financiadas pelas empresas associadas. Em 2012 o InpEV recebeu recursos da ordem de R\$ 56,5 milhões, destinados a itens como infraestrutura, unidades de recebimento, logística, destinação final, comunicação e educação, assessoria jurídica, desenvolvimento tecnológico e projetos de sustentabilidade (InpEV, at. 2013).

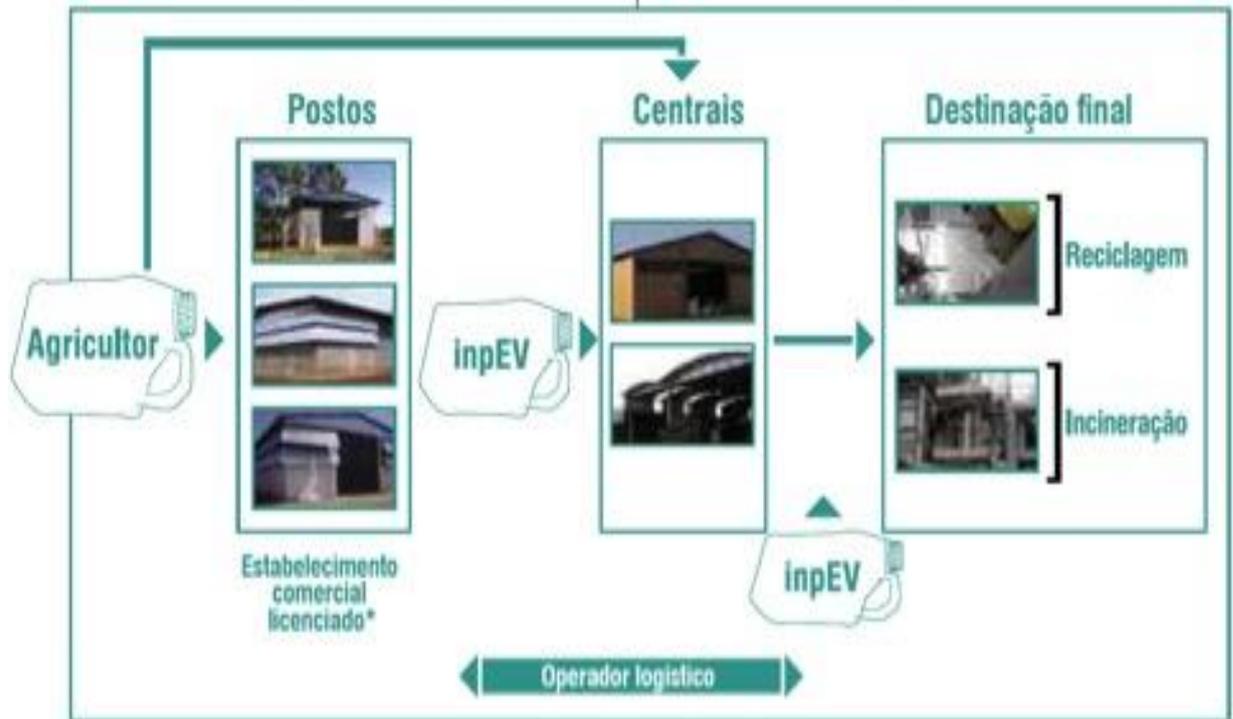
Embora os principais custos sejam relativos à infraestrutura (unidades de recebimento), à logística e à destinação final das embalagens, todos os elos da cadeia produtiva agrícola arcam com parte dos custos. O agricultor responde pelo custo de levar as embalagens até a unidade ou ponto de devolução indicado na nota fiscal de venda. Os canais de distribuição (revendedores e cooperativas) pela construção e administração das unidades de recebimento, juntamente com a indústria fabricante, que também é responsável pelos custos de logística e destinação final. O governo, por sua vez, apoia os esforços de educação e conscientização do agricultor em conjunto com fabricantes e comerciantes (InpEV, at. 2013).

Esse comprometimento e as responsabilidades compartilhadas entre todos os elos da cadeia produtiva agrícola têm sido o principal fator de sucesso do Sistema Campo Limpo. Desde 2002 o InpEV recebeu recursos da ordem de R\$ 800 milhões, destinados a itens como infraestrutura, unidades de recebimento, logística, destinação final, comunicação e educação, assessoria jurídica, desenvolvimento tecnológico e projetos de sustentabilidade (InpEV, at. 2013).

2.8.7 Organograma do InpEV

Conforme a Figura 9, pode-se entender melhor como funciona o sistema de coleta e destinação final das embalagens, segundo o InpEV.

Figura 9 – Organograma de funcionamento do InpEV.



Fonte: (InpEV, 2013)

3 MATERIAIS E METODOS

3.1 MATERIAIS

Para realização desse trabalho, foram utilizadas amostras de bombonas de 5L de três fornecedores e dois modelos diferentes.

A Tabela 3 descreve quantidade e modelo do material de cada fornecedor.

Tabela 3 – Quantidade e modelo do material utilizado de cada fornecedor.

Vigentes (Resina - GF4950HS)		Nova distribuição de massa (Resina - GF4950HS)		Resina alternativa (Resina HS5608)
Fornecedor 1 10 cdp's	Fornecedor 2 10 cdp's	Unipac 10 cdp's	Unipac 10 cdp's	Unipac 10 cdp's

Fonte: (O autor, 2015)

A resina Vigente utilizada atualmente pelos três fornecedores tem sua composição de acordo com *Data Sheet I*.

I. Resina GF4950HS:

- Fabricante: BRASKEN
- Descrição: A resina GF4950HS é um polietileno de alta densidade, copolímero, desenvolvido para o segmento de sopro. Apresenta excelente resistência ao fendilhamento por tensão ambiental sendo adequado para contato com substâncias tensoativas e produtos químicos.
- Aplicações: Frascos para detergentes concentrados Embalagens de uso geral
- Processo: Moldagem por Sopro
- Propriedades de Controle (Tabela 4):

Tabela 4 – Propriedades de Controle Resina GF4950HS.

Propriedades	Normas	Unidades	Valores
Densidade	ASTM D 792 - 00	g/cm ³	0,951
Temperatura de Amolecimento Vicat 10 N	ASTM D 1525 - 06	°C	125
Temperatura de Deflexão sob Carga a 455 kPa	ASTM D 648 - 06	°C	71
Resistência ao Impacto IZOD a 23°C	ASTM D 256 - 06	J/m	175
Dureza Shore D/15	ASTM D 2240 - 05	-	61
Módulo de Flexão Secante a 2% (em placa)	ASTM D 790 - 03	MPa	930
Alongamento na Ruptura (em placa)	ASTM D 638 - 03	%	890
Tensão na Ruptura (em placa)	ASTM D 638 - 03	MPa	35
Alongamento no Escoamento (em placa)	ASTM D 638 - 03	%	8,2
Tensão no Escoamento (em placa)	ASTM D 638 - 03	MPa	27
FRR 21,6/2,16	ASTM D 1238 - 04	-	87
MFR 190/21,6	ASTM D 1238 - 04c	g/10 min	20
MFR 190/2,16	ASTM D 1238 - 04c	g/10 min	0,21
ESCR (Cond. B, 100% Igepal)	ASTM D 1238 - 05	F50.h	480

Fonte: (Brasken, 2015)

➤ Condições de Processamento Recomendadas:

- Perfil de Temperatura:
 - Alimentação: 180°C
 - Rosca: 180°C, 185°C, 190°C
 - Cabeçote: 185°C

Como possível solução iremos utilizar nesse trabalho uma resina de mercado alternativa, de acordo com *Data Sheet II*.

II. Resina HS5608:

- Fabricante: BRASKEN
- Descrição: HS5608 é um polietileno de alta densidade e alto peso molecular, copolímero. Oferece boa processabilidade, excepcional resistência ao stress cracking, excelente rigidez e resistência ao impacto. Indicado para moldagem por sopro de grandes volumes.
- Aplicações: Sopro de Grandes Volumes: bombonas e tambores de 20 até 200 litros para embalagens de produtos químicos, agroquímicos e alimentícios.
- Processo: Moldagem por Sopro.
- Propriedades de Controle (Tabela 5):

Tabela 5 – Propriedades de Controle Resina HS5608.

Propriedades	Normas	Unidades	Valores
Índice de Fluidiez (90°C/5,0Kg)	ASTM D 1238 – 04	g/10 min	0,3
Índice c de Fluidiez (90°C/21,6Kg)	ASTM D 1238 – 04	g/10 min	8,5
Densidade	ASTM D 792 - 00	g/cm ³	0,955

Fonte: (Brasken, 2015)

- Propriedades Típicas: Propriedades de Referência de Placa (Tabela 6):

Tabela 6 – Propriedades de Referência de Placada Resina HS5608.

Propriedades	Normas	Unidades	Valores
Tensão na Ruptura (em placa)	ASTM D 638 - 03	MPa	35
Módulo de Flexão Secante a 1%	ASTM D 790 - 03	MPa	1350
Resistencia ao Impacto Charpy a -40°C	ASTM D 6110	J/m	200
Resistência à Quebra sob Tensão Ambiental	ASTM D 1693	h/F50	200
Resistência à Quebra sob Tensão Ambiental	ASTM D 1693	h/F50	>1000
Temperatura de Deflexão Térmica a 0,455 MPa	ASTM D 648	°C	73

Fonte: (Brasken, 2015)

➤ Condições de Processamento Recomendadas:

- Perfil de Temperatura:
 - Alimentação: 180°C a 190°C
 - Rosca: 190°C a 200°C
 - Cabeçote: 210°C

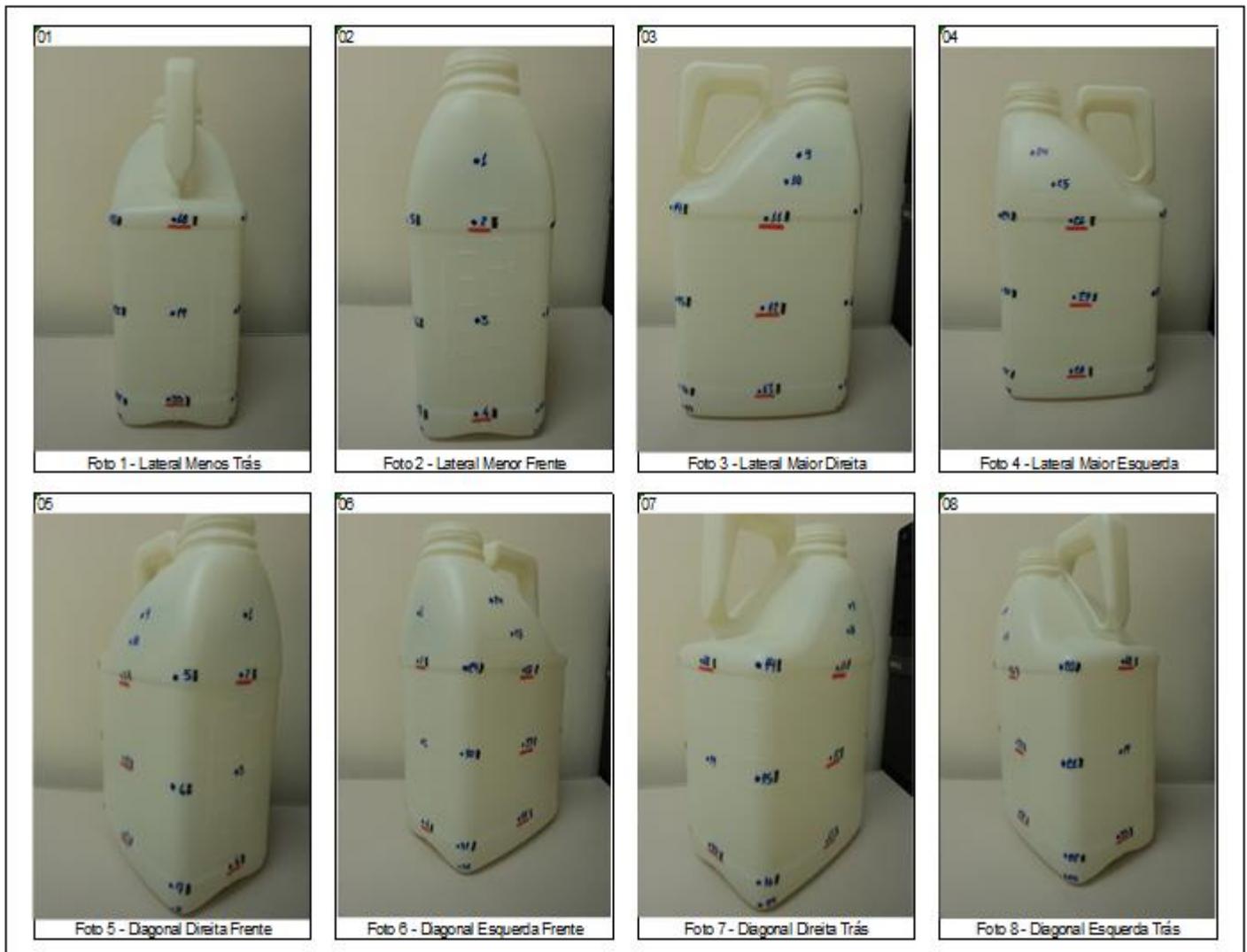
3.2 MÉTODOS

Nesse trabalho será realizado dois ensaios diferentes, para identificar, estabelecer padrões e buscar possíveis soluções para o problema inicial, o primeiro se trata do mapeamento de espessura e o segundo o ensaio e estudo de compressão.

3.2.1 Mapeamento de espessura

Para mapeamento de espessura de embalagens de 5L, os pontos foram selecionados de acordo com a Figura 10. No total foram medidos 33 pontos por corpo de prova.

Figura 10 – Pontos de Mapeamento de Espessuras.



Fonte: (O autor, 2015)

As seleções dos pontos estudados estão relacionadas a três fatores importantes, garantir o mapeamento completo das embalagens, estudar a espessura dos pontos onde ocorre interferência com as linhas produtivas onde as embalagens são utilizadas e estudar a espessura dos pontos críticos identificados no processo de produção da embalagem.

O mapeamento de espessura tem imensa importância na identificação das causas de perda de resistência mecânica.

3.2.2 Ensaio de compressão

Esta metodologia descreve o procedimento de ensaio de compressão em embalagens CRP05L (monocamadas e multicamadas), visando quantificar a resistência nos pontos de interesse. A metodologia segue a norma *ASTM D2659 – 11 – “Standard Test Method for Column Crush Properties of Blown Thermoplastic Containers”*.

Segue abaixo alguns parâmetros importantes para realização do ensaio:

- Força máxima de compressão (força no escoamento) – a primeira carga na qual um aumento na deformação ocorre sem aumento na carga (expressa em kgf).
- Limite de resistência (módulo de rigidez) – razão da carga aplicada pela correspondente área de aplicação na região de comportamento linear da curva força versus deslocamento (expressa em kgf/mm²).
- Pontos de interesse – regiões de interferência na linha de envase definidas como críticas pelo cliente.

Equipamentos necessários:

- Balança digital calibrada;
- Seladora de Indução;
- Torquímetro;
- Máquina Universal - Kratos-Mp2000;

Método de execução do ensaio:

Preparo dos corpos de prova:

- Separar 10 amostras por cavidade para o ensaio;
- Ligar a balança 30 minutos antes de começar o ensaio para estabilização do equipamento;
- Pesar as amostras vazias e identificá-las com o número da cavidade e peso;

Acondicionamento dos corpos de prova:

- Acondicionar as amostras em um ambiente com uma temperatura de 25°C ± 2°C por um período mínimo de 6 horas;

Execução do ensaio:

➤ Posicionar as amostras no dispositivo de forma que a carga aplicada pelo travessão móvel seja concentrada no ponto de interesse a ser testado. As Figuras 11 e Figura 12 ilustram os pontos de interesses e sua denominação para identificação. A figura 13 demonstra o suporte utilizado para realização do ensaio.

Figura 11 – Informações das posições no teste na lateral maior.



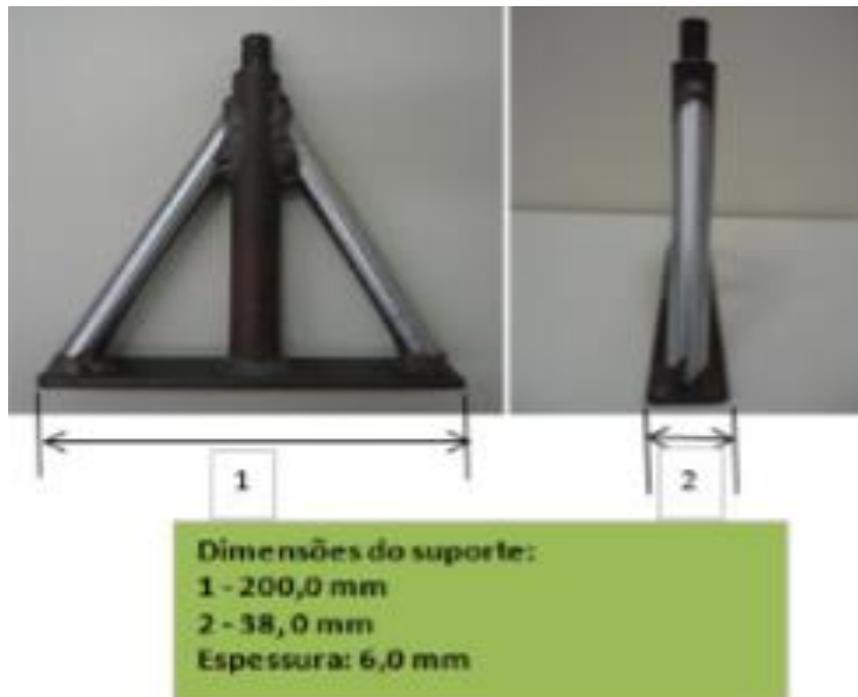
Fonte: (O autor, 2015)

Figura 12 – Informações das posições no teste na lateral menor.



Fonte: (O autor, 2015)

Figura 13 – Informações do suporte utilizado.



Fonte: (O autor, 2015)

- Ligar a máquina Kratos entrar no *software* (programa) e selecionar o ensaio de compressão;
- Clicar na opção “Ensaia” O software pergunta: Uma série de amostra? Clique na opção “SIM”;
- Fazer a identificação do ensaio e clicar na opção “OK”;
- Encerrar o ensaio após o escoamento (clique na opção “Encerrar”); O software pergunta: Deseja salvar o ensaio realizado? Clique na opção “sim”; O software pergunta: Deseja acrescentar observações? Escolha uma opção “SIM/NÃO”;
- O resultado obtido deverá ser expresso como aprovado se a média dos 10 corpos de provas testados for superior a 22 kgf.

4 ANALISE E RESULTADOS

4.1 ANALISE DIMENSIONAL, AMOSTRAS PEAD RESINA VIGENTE (GF4950HS)

Inicialmente foram levantados os pontos de espessura de dez amostras PEAD (GF4950HS), referentes a três fornecedores conforme procedimento de mapeamento de espessura. Calculado a média para cada ponto de espessura, identificado os valores mínimo e máximo, a variação máxima entre os três fornecedores e o desvio (+) conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Mapeamento de espessura, amostras PEAD (GF4950HS).

Pontos Analisados	Fornecedor 1 (mm)	Fornecedor 2 (mm)	Unipac (mm)	Min (mm)	Máx (mm)	Var (mm)	Desv (+) (mm)
Ponto 1	1,86	1,29	1,90	1,29	1,90	0,61	1,90
Ponto 2	1,81	1,54	1,72	1,54	1,81	0,27	1,81
Ponto 3	1,50	1,25	1,54	1,25	1,54	0,29	1,54
Ponto 4	2,29	2,15	2,22	2,15	2,29	0,14	2,29
Ponto 5	1,29	1,16	1,18	1,16	1,29	0,13	1,29
Ponto 6	1,19	0,90	1,02	0,90	1,19	0,29	1,19
Ponto 7	1,09	0,84	0,78	0,84	1,09	0,25	1,09
Ponto 8	0,70	0,69	0,79	0,69	0,79	0,10	0,79
Ponto 9	1,24	1,01	1,52	1,01	1,24	0,23	1,24
Ponto 10	1,13	1,22	1,33	1,13	1,33	0,20	1,33
Ponto 11	1,2	1,15	1,21	1,15	1,21	0,06	1,21
Ponto 12	1,22	1,13	1,37	1,13	1,37	0,24	1,37
Ponto 13	0,92	0,79	0,72	0,72	0,92	0,20	0,92
Ponto 14	0,67	0,62	0,80	0,62	0,80	0,18	0,80
Ponto 15	1,00	0,92	1,30	0,92	1,30	0,38	1,30
Ponto 16	1,07	0,90	0,89	0,89	1,07	0,18	1,07
Ponto 17	0,72	0,63	0,70	0,63	0,72	0,09	0,72
Ponto 18	1,15	0,67	1,72	0,67	1,72	1,05	1,72
Ponto 19	1,5	1,25	1,68	1,25	1,68	0,43	1,68
Ponto 20	1,00	0,80	0,70	0,70	1,00	0,30	1,00
Ponto 21	1,24	1,08	1,09	1,08	1,24	0,16	1,24
Ponto 22	1,18	0,90	0,70	0,70	1,18	0,48	1,18

Tabela 7 – Mapeamento de espessura, amostras PEAD (GF4950HS).

Ponto 23	0,90	0,73	0,57	0,57	0,90	0,33	0,90
Ponto 24	1,56	1,19	1,57	1,19	1,57	0,38	1,57
Ponto 25	1,39	1,46	1,33	1,33	1,46	0,13	1,46
Ponto 26	1,24	1,38	1,20	1,20	1,38	0,18	1,38
Ponto 27	1,41	1,61	1,10	1,10	1,61	0,51	1,61
Ponto 28	0,96	1,21	0,60	0,60	1,21	0,61	1,21
Ponto 29	1,33	1,23	1,24	1,23	1,33	0,10	1,33
Ponto 30	1,08	1,07	1,12	1,07	1,12	0,05	1,12
Ponto 31	1,11	0,98	0,75	0,75	1,11	0,36	1,11
Ponto 32	0,94	0,72	0,64	0,64	0,94	0,30	0,94
Ponto 33	2,20	2,00	2,40	2,00	2,40	0,40	2,40

Fonte: (O autor, 2015)

Após mapeamento de espessura, para as amostras PEAD foram identificados os pontos críticos, conforme Tabela 8, e os pontos de interferência com a linha produtiva, conforme Tabela 9.

Tabela 8 – Pontos críticos, amostras PEAD (GF4950HS).

Pontos Críticos	Região	Fornecedor 1 (mm)	Fornecedor 2 (mm)	Unipac (mm)	Min (mm)	Máx (mm)	Var(mm)	Desv (+) (mm)
Ponto 2	Lateral Menor	1,81	1,54	1,72	1,54	1,81	0,27	1,81
Ponto 4	Lateral Menor	2,29	2,15	2,22	2,15	2,29	0,14	2,29
Ponto 11	Lateral Maior	1,20	1,15	1,21	1,15	1,21	0,06	1,21
Ponto 12	Lateral Maior	1,22	1,13	1,37	1,13	1,37	0,24	1,37
Ponto 13	Lateral Maior	0,92	0,79	0,72	0,72	0,92	0,20	0,92
Ponto 18	Lateral Menor	1,15	0,67	1,72	0,67	1,72	1,05	1,72
Ponto 26	Lateral Maior	1,24	1,38	1,20	1,20	1,38	0,18	1,38
Ponto 27	Lateral Maior	1,41	1,61	1,10	1,10	1,61	0,51	1,61
Ponto 28	Lateral Maior	0,96	1,21	0,60	0,60	1,21	0,61	1,21
Ponto 33	Lateral Menor	2,20	2,00	2,40	2,00	2,40	0,40	2,40

Fonte: (O autor, 2015)

Tabela 9 – Pontos de interferências, amostras PEAD (GF4950HS).

Pontos de Interferência	Região	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Unipac	Min	Máx	Var	Desv (+)
Ponto 2	Lateral Menor	1,81	1,54	1,72	1,54	1,81	0,27	1,81
Ponto 4	Lateral Menor	2,29	2,15	2,22	2,15	2,29	0,14	2,29
Ponto 5	Lateral Menor/Maior	1,29	1,16	1,18	1,16	1,29	0,13	1,29
Ponto 6	Lateral Menor/Maior	1,19	0,90	1,02	0,90	1,19	0,29	1,19
Ponto 7	Lateral Menor/Maior	1,09	0,84	0,78	0,84	1,09	0,25	1,09
Ponto 11	Lateral Maior	1,20	1,15	1,21	1,15	1,21	0,06	1,21
Ponto 12	Lateral Maior	1,22	1,13	1,37	1,13	1,37	0,24	1,37
Ponto 13	Lateral Maior	0,92	0,79	0,72	0,72	0,92	0,20	0,92
Ponto 14	Lateral Menor/Maior	0,67	0,62	0,80	0,62	0,80	0,18	0,80
Ponto 15	Lateral Menor/Maior	1,00	0,92	1,30	0,92	1,30	0,38	1,30
Ponto 16	Lateral Menor/Maior	1,07	0,90	0,89	0,89	1,07	0,18	1,07
Ponto 18	Lateral Menor	1,15	0,67	1,72	0,67	1,72	1,05	1,72

Tabela 9 – Pontos de interferências, amostras PEAD (GF4950HS).

Ponto 20	Lateral Menor/Maior	1,00	0,80	0,70	0,70	1,00	0,30	1,00
Ponto 21	Lateral Menor/Maior	1,24	1,08	1,09	1,08	1,24	0,16	1,24
Ponto 22	Lateral Menor/Maior	1,18	0,90	0,70	0,70	1,18	0,48	1,18
Ponto 26	Lateral Maior	1,24	1,38	1,20	1,20	1,38	0,18	1,38
Ponto 27	Lateral Maior	1,41	1,61	1,10	1,10	1,61	0,51	1,61
Ponto 28	Lateral Maior	0,96	1,21	0,60	0,60	1,21	0,61	1,21
Ponto 29	Lateral Menor/Maior	1,33	1,23	1,24	1,23	1,33	0,10	1,33
Ponto 30	Lateral Menor/Maior	1,08	1,07	1,12	1,07	1,12	0,05	1,12
Ponto 31	Lateral Menor/Maior	1,11	0,98	0,75	0,75	1,11	0,36	1,11
Ponto 33	Lateral Menor	2,20	2,00	2,40	2,00	2,40	0,40	2,40

 Fonte: (O autor, 2015)

4.2 ANÁLISE DE COMPRESSÃO, AMOSTRAS PEAD RESINA VIGENTE (GF4950HS).

Para os ensaios de compressão, utilizamos as mesmas dez amostras PEAD de cada um dos três fornecedores, garantindo que os dados obtidos nos ensaios representam a distribuição de massa original pertinente a cada amostra. A Tabela 10 numera a ordem que os ensaios foram realizados.

Tabela 10 – Cronograma de ensaios de compressão resina vigente (GF4950HS).

Nº	Fornecedor	Modelo	Composição
Ensaio 1	Fornecedor 1	PEAD	Resina GF4950HS (Vigente)
Ensaio 2	Fornecedor 2	PEAD	Resina GF4950HS (Vigente)
Ensaio 3	Unipac	PEAD	Resina GF4950HS (Vigente)

Fonte: (O autor, 2015)

➤ **Ensaio 1:**

- Identificação: Fornecedor 1 PEAD – GF4950HS (Vigente)
- Quantidade: 10 amostras
- Célula de Carga: 2000 kgf
- Pré-Carga: 0,5 kgf
- Velocidade de Deslocamento: 12,50 mm/min
- Temperatura: 25,00 °C
- Umidade Relativa: 50,00%

Tabela 11 – Ensaio de Compressão Fornecedor 1 PEAD – GF4950HS.

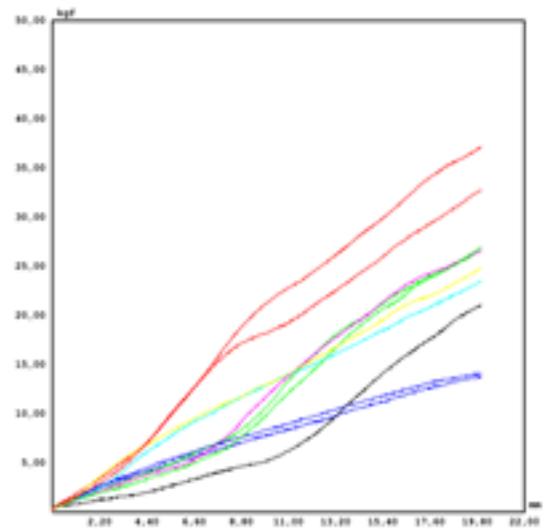
Nº	Local de Realização do Ensaio	Força Mínima (kgf)	Limite de Resistência (kgf/mm ²)	Alongamento (%)	Alogamento Linear (mm)	Módulo de Elasticidade (kgf/mm ²)
1	Ponto 11	-21,10	-0,46	6,25	20,000	7,87
2	Ponto 12	-13,80	-0,30	6,25	20,000	4,94
3	Ponto 13	-26,70	-0,58	6,25	20,000	11,18
4	Ponto 2	-23,50	-0,51	6,25	20,000	9,33
5	Ponto 4	-37,20	-0,81	6,25	20,000	18,67
6	Ponto 26	-26,70	-0,58	6,25	20,000	13,3
7	Ponto 27	-14,10	-0,31	6,25	20,000	5,46
8	Ponto 28	-27,00	-0,59	6,25	20,000	13,02
9	Ponto 18	-24,80	-0,54	6,25	20,000	8,2
10	Ponto 33	-32,80	-0,72	6,25	20,000	16,78
	Valor Mínimo	-13,80	-0,30	6,25	20,000	4,94
	Valor Máximo	-37,20	-0,81	6,25	20,000	18,67
	Valor Médio	-24,77	-0,54	6,25	20,000	10,78
	Desvio Padrão	7,31	0,16	0.00 E+00	0.00 E+00	4,55

Fonte: (O autor, 2015)

Figura 14 – Resultado Ensaio de Compressão Fornecedor 1 PEAD – GF4950HS.

Fornecedor 1 - Mono (Lateral Maior)	
Ponto 26	21,10
Ponto 27	13,80
Ponto 28	26,30

Fornecedo 1 - Mono (Lateral Menor)	
Ponto 02	23,50
Ponto 04	32,80



Fonte: (O autor, 2015)

➤ Ensaio 2:

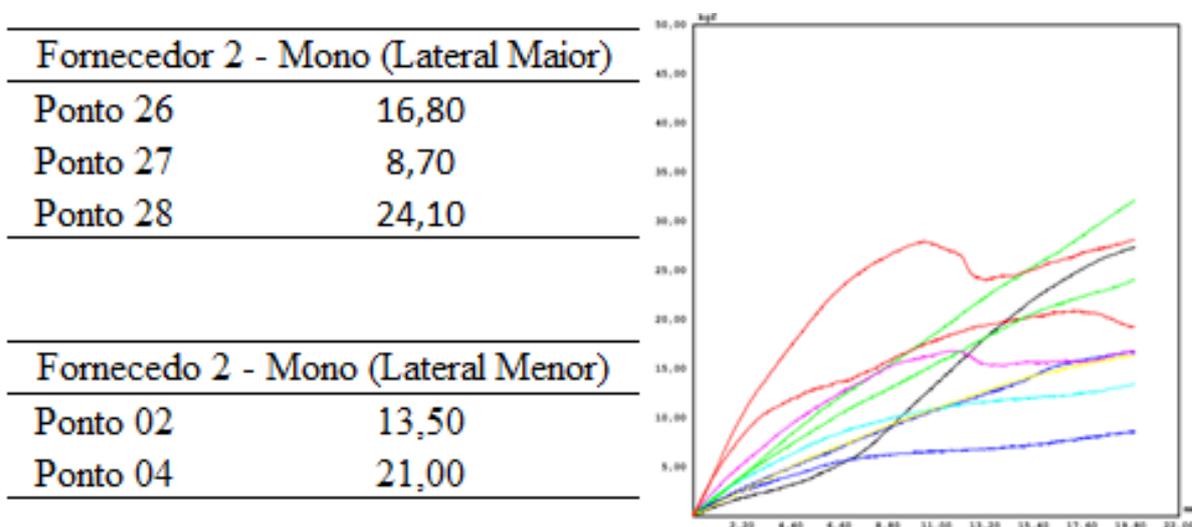
- Identificação: Fornecedor 2 PEAD – GF4950HS (Vigente)
- Quantidade: 10 amostras
- Célula de Carga: 2000 kgf
- Pré-Carga: 0,5 kgf
- Velocidade de Deslocamento: 12,50 mm/min
- Temperatura: 25,00 °C
- Umidade Relativa: 50,00%

Tabela 12 – Ensaio de Compressão Fornecedor 2 PEAD – GF4950HS.

Nº	Local de Realização do Ensaio	Força Mínima (kgf)	Limite de Resistência (kgf/mm ²)	Alongamento (%)	Alogamento Linear (mm)	Módulo de Elasticidade (kgf/mm ²)
1	Ponto 11	-27,40	-0,60	6,25	20,000	13,31
2	Ponto 12	-16,80	-0,37	6,25	20,000	6,4
3	Ponto 13	-32,20	-0,70	6,25	20,000	11,42
4	Ponto 2	-13,50	-0,29	6,25	20,000	8,46
5	Ponto 4	-21,00	-0,46	6,25	20,000	19,19
6	Ponto 26	-16,80	-0,37	6,25	20,000	13,68
7	Ponto 27	-8,70	-0,19	6,25	20,000	5,14
8	Ponto 28	-24,10	-0,53	6,25	20,000	9,46
9	Ponto 18	-16,30	-0,36	6,25	20,000	6,91
10	Ponto 33	-28,10	-0,61	6,25	20,000	27,61
	Valor Mínimo	-8,70	-0,19	6,25	20,000	5,14
	Valor Máximo	-32,20	-0,70	6,25	20,000	27,61
	Valor Médio	-20,49	-0,45	6,25	20,000	12,16
	Desvio Padrão	7,37	0,16	0.00 E+00	0.00 E+00	6,86

Fonte: (O autor, 2015)

Figura 15 – Resultado Ensaio de Compressão Fornecedor 2 PEAD – GF4950HS.



Fonte: (O autor, 2015)

➤ **Ensaio 3:**

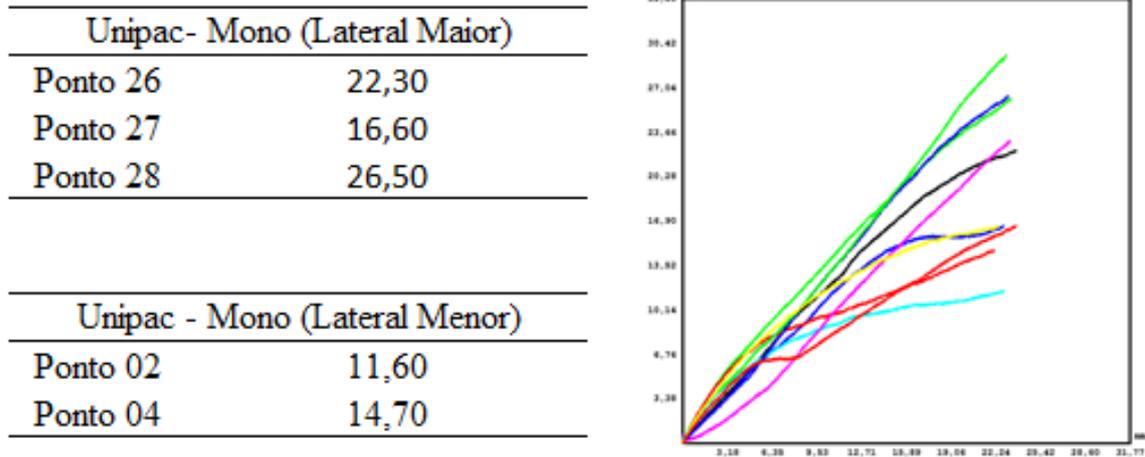
- Identificação: Unipac PEAD – GF4950HS (Vigente)
- Quantidade: 10 amostras
- Célula de Carga: 2000 kgf
- Pré-Carga: 0,5 kgf
- Velocidade de Deslocamento: 12,50 mm/min
- Temperatura: 25,00 °C
- Umidade Relativa: 50,00%

Tabela 13 – Ensaio de Compressão Unipac Mono – GF4950HS.

Nº	Local de Realização do Ensaio	Força Mínima (kgf)	Limite de Resistência (kgf/mm ²)	Alongamento (%)	Alogamento Linear (mm)	Módulo de Elasticidade (kgf/mm ²)
1	Ponto 11	-22,30	-0,49	7,41	23,700	8,09
2	Ponto 12	-16,60	-0,36	7,12	22,790	3,26
3	Ponto 13	-26,30	-0,57	7,29	23,340	4,39
4	Ponto 2	-11,60	-0,25	7,13	22,820	4,11
5	Ponto 4	-14,70	-0,32	6,91	22,110	8,38
6	Ponto 26	-23,00	-0,50	7,27	22,270	2,62
7	Ponto 27	-26,40	-0,58	7,23	23,130	9,73
8	Ponto 28	-29,60	-0,65	7,19	23,000	8,36
9	Ponto 18	-16,60	-0,36	7,01	22,430	8,71
10	Ponto 33	-16,60	-0,36	7,40	23,690	2,70
	Valor Mínimo	-11,6	-0,25	6,91	22,110	2,62
	Valor Máximo	-29,6	-0,65	7,41	23,700	9,73
	Valor Médio	-20,37	-0,44	7,20	23,028	6,04
	Desvio Padrão	5,95	0,13	0,16	0,512	2,84

Fonte: (O autor, 2015)

Figura 16 – Resultado Ensaio de Compressão Unipac Mono – GF4950HS.



Fonte: (O autor, 2015)

4.3 ANÁLISE DIMENSIONAL COM NOVA DISTRIBUIÇÃO DE MASSA, AMOSTRAS PEAD (GF4950HS).

De forma semelhante a análise das amostras vigentes, para nova distribuição de massa foram levantados os pontos de espessura de dez amostras PEAD, conforme Tabela 14 (GF4950HS – Nova Distribuição de Massa), do fornecedor UNIPAC. Para confecção das amostras com nova distribuição de massa, foi feito um estudo, considerando os pontos de interferência apresentados no início trabalho e o comparativo entre os resultados obtidos com as análises feitas nas amostras vigentes.

Tabela 14 – Mapeamento de espessura, amostras PEAD (GF4950HS- Nova Distribuição de Massa).

Pontos Analisados	Unipac (Nova distribuição de massa)	Pontos Analisados	Unipac (Nova distribuição de massa)
Ponto 1	2,02	Ponto 18	1,70
Ponto 2	1,80	Ponto 19	1,72
Ponto 3	1,90	Ponto 20	0,68
Ponto 4	2,63	Ponto 21	1,16
Ponto 5	1,20	Ponto 22	1,11
Ponto 6	1,18	Ponto 23	0,58
Ponto 7	1,46	Ponto 24	1,56
Ponto 8	0,79	Ponto 25	1,48
Ponto 9	1,40	Ponto 26	1,39
Ponto 10	1,10	Ponto 27	1,54
Ponto 11	1,12	Ponto 28	1,44
Ponto 12	1,37	Ponto 29	1,38
Ponto 13	1,27	Ponto 30	1,37
Ponto 14	0,66	Ponto 31	1,41
Ponto 15	1,10	Ponto 32	0,64
Ponto 16	1,20	Ponto 33	0,90
Ponto 17	0,68		

Fonte: (O autor, 2015)

Após mapeamento de espessura, para as amostras PEAD foram identificados os pontos críticos e os pontos de interferência com a linha produtiva, conforme Tabela 15.

Tabela 15 – Pontos críticos e de interferência com a linha produtiva, amostras PEAD (GF4950HS – Nova distribuição de massa).

Pontos Críticos	Unipac (Nova distribuição de massa)	Pontos de Interferencia	Unipac (Nova distribuição de massa)
Ponto 2	1,80	Ponto 2	1,80
Ponto 4	2,63	Ponto 3	1,90
Ponto 11	1,12	Ponto 4	2,63
Ponto 12	1,37	Ponto 5	1,20
Ponto 13	1,27	Ponto 6	1,18
Ponto 18	1,70	Ponto 7	1,46
Ponto 26	1,39	Ponto 11	1,12
Ponto 27	1,54	Ponto 12	1,37
Ponto 28	1,44	Ponto 13	1,27
Ponto 33	0,90	Ponto 14	0,66
		Ponto 15	1,10
		Ponto 16	1,20
		Ponto 18	1,70
		Ponto 20	0,68
		Ponto 21	1,16
		Ponto 22	1,11
		Ponto 26	1,39
		Ponto 27	1,54
		Ponto 28	1,44
		Ponto 29	1,38
		Ponto 30	1,37
		Ponto 31	1,41
		Ponto 33	0,90

Fonte: (O autor, 2015)

4.4 ANÁLISE DE COMPRESSÃO COM NOVA DISTRIBUIÇÃO DE MASSA, AMOSTRAS PEAD (GF4950HS)

Para os ensaios de compressão, utilizamos as mesmas dez amostras PEAD de cada um dos três fornecedores, garantindo que os dados obtidos nos ensaios representam a distribuição de massa original pertinente a cada amostra. A Tabela 16 numera a ordem que os ensaios com a resina alternativa foram realizados.

Tabela 16 – Cronograma de ensaios de compressão resina vigente (GF4950HS – Nova distribuição de massa).

Nº	Fornecedor	Modelo	Composição
Ensaio 7	Unipac	PEAD	Resina GF4950HS (Vigente), nova distribuição de massa

Fonte: (O autor, 2015)

➤ Ensaio 7:

- Identificação: Unipac PEAD – GF4950HS (Nova distribuição)
- Quantidade: 10 amostras
- Célula de Carga: 2000 kgf
- Pré-Carga: 0,5 kgf
- Velocidade de Deslocamento: 12,50 mm/min
- Temperatura: 25,00 °C
- Umidade Relativa: 50,00%

Tabela 17 – Ensaio de Compressão Unipac PEAD – GF4950 – Nova distribuição de massa.

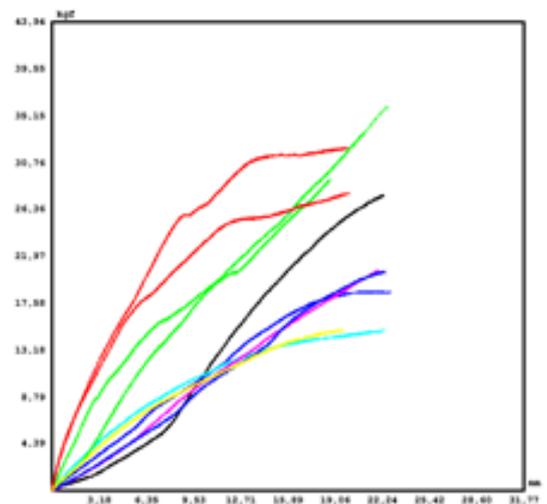
Nº	Local de Realização do Ensaio	Força Mínima (kgf)	Limite de Resistência (kgf/mm ²)	Alongamento (%)	Alogamento Linear (mm)	Módulo de Elasticidade (kgf/mm ²)
1	Ponto 11	-27,70	-0,60	6,98	22,330	13,8
2	Ponto 12	-18,70	-0,41	7,11	22,750	7,41
3	Ponto 13	-36,00	-0,78	7,06	22,580	10,44
4	Ponto 2	-15,10	-0,33	7	22,390	8,21
5	Ponto 4	-32,20	-0,70	6,23	19,930	20,36
6	Ponto 26	-20,70	-0,45	6,87	21,990	2,85
7	Ponto 27	-20,60	-0,45	7,01	22,430	7,42
8	Ponto 28	-29,20	-0,64	5,85	18,730	13,67
9	Ponto 18	-15,10	-0,33	6,13	19,620	7,71
10	Ponto 33	-28,00	-0,61	6,25	19,990	11,29
	Valor Mínimo	-15,10	-0,33	5,85	18,730	2,85
	Valor Máximo	-36,00	-0,78	7,11	22,750	20,36
	Valor Médio	-24,33	-0,53	6,65	21,274	10,32
	Desvio Padrão	7,27	0,16	0,47	1,519	4,82

Fonte: (O autor, 2015)

Figura 17 – Resultado Ensaio de Compressão Unipac PAED – GF4950HS – Nova distribuição de massa.

Unipac- Mono (Lateral Maior)	
Ponto 26	20,70
Ponto 27	18,70
Ponto 28	29,20

Unipac - Mono (Lateral Menor)	
Ponto 02	15,10
Ponto 04	28,00



Fonte: (O autor, 2015)

4.5 ANÁLISE DIMENSIONAL COM NOVA DISTRIBUIÇÃO DE MASSA, AMOSTRAS PEAD (GF4950HS)

De forma semelhante a análise das amostras vigentes e nova distribuição de massa, para a resina alternativa foram levantados os pontos de espessura de dez amostras PEAD, conforme Tabela 18 (HS2608 – Resina alternativa), do fornecedor UNIPAC. Para confecção das amostras com resina alternativa, foi feito um estudo, considerando os pontos de interferência apresentados no início trabalho e o comparativo entre os resultados obtidos com as análises feitas nas amostras vigentes e nova distribuição de massa.

Tabela 18 – Mapeamento de espessura, amostras PEAD (HS5608 – Resina alternativa).

Pontos Analisados	Unipac (Resina Alternativa (HS5608))	Pontos Analisados	Unipac (Resina Alternativa (HS5608))
Ponto 1	1,94	Ponto 18	1,25
Ponto 2	1,88	Ponto 19	2,22
Ponto 3	1,72	Ponto 20	0,80
Ponto 4	2,28	Ponto 21	1,36
Ponto 5	1,22	Ponto 22	1,08
Ponto 6	1,25	Ponto 23	0,57
Ponto 7	1,13	Ponto 24	1,23
Ponto 8	0,59	Ponto 25	1,00
Ponto 9	1,39	Ponto 26	0,75
Ponto 10	1,18	Ponto 27	1,05
Ponto 11	1,06	Ponto 28	0,70
Ponto 12	1,07	Ponto 29	1,39
Ponto 13	0,79	Ponto 30	1,40
Ponto 14	0,76	Ponto 31	1,25
Ponto 15	1,26	Ponto 32	0,80
Ponto 16	1,12	Ponto 33	0,90
Ponto 17	0,55		

Fonte: (O autor, 2015)

Após mapeamento de espessura, para as amostras PEAD foram identificados os pontos críticos e os pontos de interferência com a linha produtiva, conforme Tabela 19.

Tabela 19 – Pontos críticos e de interferência com a linha produtiva, amostras PEAD (HS5608 – Resina alternativa).

Pontos Críticos	Unipac		Pontos de Interferencia	Unipac	
	(Resina Alternativa (HS5608))			(Resina Alternativa (HS5608))	
Ponto 2	1,88		Ponto 2	1,88	
Ponto 4	2,28		Ponto 3	1,72	
Ponto 11	1,06		Ponto 4	2,28	
Ponto 12	1,07		Ponto 5	1,22	
Ponto 13	0,79		Ponto 6	1,25	
Ponto 18	1,25		Ponto 7	1,13	
Ponto 26	0,75		Ponto 11	1,06	
Ponto 27	1,05		Ponto 12	1,07	
Ponto 28	0,7		Ponto 13	0,79	
Ponto 33	0,9		Ponto 14	0,76	
			Ponto 15	1,26	
			Ponto 16	1,12	
			Ponto 18	1,25	
			Ponto 20	0,8	
			Ponto 21	1,36	
			Ponto 22	1,08	
			Ponto 26	0,75	
			Ponto 27	1,05	
			Ponto 28	0,7	
			Ponto 29	1,39	
			Ponto 30	1,4	
			Ponto 31	1,25	
			Ponto 33	0,9	

Fonte: (O autor, 2015)

4.6 ANÁLISE DE COMPRESSÃO COM RESINA ALTERNATIVA, AMOSTRAS PEAD (HS5608)

Para os ensaios de compressão, utilizamos as mesmas dez amostras PEAD de cada um dos três fornecedores, garantindo que os dados obtidos nos ensaios representam a distribuição de massa original pertinente a cada amostra. A Tabela 20 numera a ordem que os ensaios com a resina alternativa foram realizados.

Tabela 20 – Cronograma de ensaios de compressão resina alternativa (HS5608)

Nº	Fornecedor	Modelo	Composição
Ensaio 9	Unipac	PEAD	Resina HS5608 (Alternativa)

Fonte: (O autor, 2015)

➤ **Ensaio 9:**

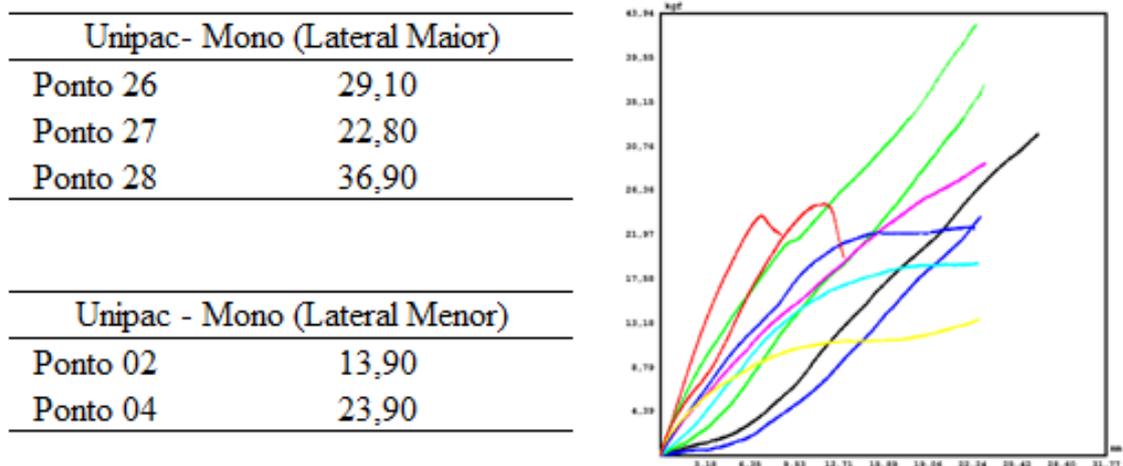
- Identificação: Unipac PEAD – HS5608 (Resina alternativa)
- Quantidade: 10 amostras
- Célula de Carga: 2000 kgf
- Pré-Carga: 0,5 kgf
- Velocidade de Deslocamento: 12,50 mm/min
- Temperatura: 25,00 °C
- Umidade Relativa: 50,00%

Tabela 21 – Ensaio de Compressão Unipac PEAD – HS5608 – Resina alternativa

Nº	Local de Realização do Ensaio	Força Mínima (kgf)	Limite de Resistência (kgf/mm ²)	Alongamento (%)	Alogamento Linear (mm)	Módulo de Elasticidade (kgf/mm ²)
1	Ponto 11	-32,00	-0,70	8,42	26,930	10,98
2	Ponto 12	-23,80	-0,52	7,14	22,840	9,19
3	Ponto 13	-36,90	-0,80	7,22	23,110	4,14
4	Ponto 2	-19,20	-0,42	7,08	22,650	4,42
5	Ponto 4	-23,90	-0,52	2,68	8,570	29,25
6	Ponto 26	-29,10	-0,63	7,24	23,170	5,02
7	Ponto 27	-22,80	-0,50	6,99	22,370	12,93
8	Ponto 28	-42,90	-0,94	7,05	22,550	13,11
9	Ponto 18	-13,60	-0,30	7,11	22,760	9,75
10	Ponto 33	-25,10	-0,55	4,09	13,080	15,14
	Valor Mínimo	-13,60	-0,30	2,68	8,570	4,14
	Valor Máximo	-42,90	-0,94	8,42	26,930	29,25
	Valor Médio	-26,93	-0,59	6,5	20,803	11,39
	Desvio Padrão	8,57	0,19	1,73	5,524	7,36

Fonte: (O autor, 2015)

Figura 18 – Resultado Ensaio de Compressão Unipac Mono – HS5608 – Resina alternativa



Fonte: (O autor, 2015)

5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados apresentados pelas amostras vigentes utilizando a resina GF4950HS, foi possível identificar um valor médio obtido no ensaio de compressão entre os três fornecedores, com isso foi possível estabelecer um valor padrão para análise de desempenho e eficiência das bombonas PEAD 5L quanto a resistência mecânica.

Para primeira solução proposta, realizar uma nova distribuição de massa com a finalidade de elevar os pontos críticos de interferências com as linhas produtivas, se mostrou eficaz, garantindo valores semelhantes aos adotados como padrão médio, assim, podemos avaliar de forma eficaz essa alternativa para este problema.

A segunda solução proposta no trabalho, alteração da resina (de GF4950HS para HS5608), apresentou valores de resistência a compressão muito mais eficientes, garantindo um desempenho eficaz.

Devido aos valores muito acima dos adotados como padrão, decorrentes do estudo proposto pela segunda opção de solução, podemos deixar como sugestão para próximos trabalhos, estudos relacionados com redução de gramatura, pois a margem de valores de resistência mecânica que temos para trabalhar sem interferência na performance da embalagem são bem amplos. Essa sugestão tem alto apelo sustentável e econômico.

REFERÊNCIAS

BILLMEYER, F. W. J. **Textbook of polymer science**. New York : John Wiley, 1984.

CANEVAROLO JUNIOR, S. V. **Ciência dos polímeros**. 2.ed. São Paulo: Artliber, 2010.

COUTINHO F. M. B.; MELLO I. L; Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros: ciência e tecnologia**. Rio de Janeiro, v.13, n.1, p.1-13, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v13n1/15064.pdf>>. Acesso: 19 nov. 2015.

FAO. **O aumento populacional e os desafios da segurança alimentar**. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/apdsa.asp>>. Acesso: 08 jun. 2015.

FELDMAN, D.; BARBALATA, A., **Synthetic polymers : technology, properties, applications**. London: Chapman & Hall, 1996.

FREITAS, E. **A importância da atividade agropecuária para a economia e a sociedade**. Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com/geografia/agronegocios.htm>>. Acesso: 23 jun. 2015.

HENGLEIN, F. A. **Tecnologia química**. Vyzcaya: S. A. Ediciones Urmo, 1977.

INPEV. **Histórico**. Disponível em: < <http://www.inpev.org.br/>>. Acesso: 03 nov. 2015.

IPIRANGA, **Catálogo de produtos**. Disponível em: <<http://www.maisplastico.com.br/fornecedores.php?codigo=2825>>. Acesso: 08 jun 2015.

KINKARTZ, S. **Crescimento populacional e o desafio da alimentação**. Disponível em:<<http://www.ufjf.br/ladem/2012/02/28/crescimento-populacional-e-o-desafio-da-alimentacao-por-sabine-kinkartz/>>. Acesso: 08 jun. 2015.

POLIALDEN, **Catálogo de produtos**. Disponível em: < <http://www.braskem.com/catalogo2015ago25/>> . Acesso: 08 jun 2015.

MATOR, M. A. **O papel do Agronegócio**. Disponível em: <http://www.agroanalysis.com.br/materia_detalhe.php?idMateria=1365>. Acesso: 23 jun. 2015.

MENGES, G. **Encyclopedia of polymer science and engineering**. New York: John Wiley & Sons, 1986, v.6.

MILES D. C. & BRISTON, J. H. **Polymer technology**. London : Temple Press Book, 1965.

NEVES, C. J. A. **Resistência química de pe's a vários reagentes químicos**. Boletim Técnico nº13, OPP Petroquímica S.A., Rio Grande do Sul: 1999.

ODIAN, G. **Principles of polymerization**. New York : John Wiley, 1991.