

## **AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS SOBRE BLENDS DE POLIETILENOS RECICLADOS PÓS-CONSUMO SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS**

**M. V. L. Fook<sup>1</sup>, A. G. de Souza<sup>2</sup>, S. Prasad<sup>3</sup>, A. H. Aparecida<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>) Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista. Rua Prof. Francisco Degni, s/n, Araraquara/SP, Cep:14800-900

<sup>2</sup>) Universidade Federal da Paraíba. Campus I. Programa de Pós-Graduação em Química

<sup>3</sup>) Universidade Federal de Campina Grande. Departamento de Engenharia Química. Campus I. Campina Grande/PB. Correo electrónico: [vinicius@posgrad.iq.unesp.br](mailto:vinicius@posgrad.iq.unesp.br)

### **RESUMEN**

El uso creciente de los materiales plásticos, estimulado por la diversidad de sus propiedades y características, hay dado lugar al problema ecológico por los residuos acumulados. Los recientes datos estadísticos indican valores anuales de aproximadamente 52 millones de toneladas de un grupo de plásticos que pueden tardar más de 50 años en degradarse. En estado de Paraíba, al igual que en los demás estados del Brasil prevalece el reciclaje primario, o sea, la reutilización es realizada internamente por las mismas empresas que producen los residuos. Sin embargo, la Petromix S/A compañía del grupo Polyútil S.A. – Industria e Comercio de Materiales Plásticos, procesa aproximadamente 500 ton/mes de polietilenos adquiridos directamente de los depósitos de basura y los reincorpora al proceso productivo del país. La recolección de estos materiales se lleva a cabo en siete estados del nordeste y en dos de la región norte. En este trabajo muestras de polietileno de alta densidad fueran recogidas en las ciudades de Campina Grande, João Pessoa, Recife, Natal y Salvador. Las muestras eran de tres tipos: polietileno de alta densidad virgen (JV060), polietileno de alta densidad post-consumo (utilidades domésticas) y polietileno de alta densidad para cajas de bebidas. Los resultados obtenidos muestran que el polietileno virgen de alta densidad sometido a degradación natural durante un período de 180 días presenta propiedades físicas semejantes a las de los polietilenos post-consumo. Los polietilenos post-

consumo de las ciudades de Campina Grande, João Pessoa, Recife y Natal no presentan diferencias entre sí. En virtud de la aditivación específica, el polietileno reciclado para cajas de bebidas (Salvador) presentó propiedades mecánicas superiores a las de los demás polietilenos reciclados.

### **RESUMO**

O crescente uso de materiais plásticos, impulsionado pela diversidade de propriedades e características, tem resultado no agravamento do problema ecológico causado pelos resíduos acumulados. Dados estatísticos recentes indicam para a produção e o descarte anual de 52 milhões de toneladas por ano de um grupo de plásticos – os commodities, que podem levar mais de 50 anos para serem degradados.

Na Paraíba e, por extensão, nos demais estados da Federação prevalece a reciclagem primária, ou seja, as empresas reaproveitam os resíduos gerados internamente. Entretanto, a Petromix S/A, empresa do grupo Polyútil S/A – Indústria e Comércio de Materiais Plásticos, processa aproximadamente 500 ton/mês de polietilenos, adquiridos diretamente dos lixões, reincorporando-os ao processo produtivo. A coleta destes materiais é realizada em 07 estados nordestinos e 02 da região norte.

Neste trabalho foram coletadas amostras de polietileno de alta densidade (PEAD) nas cidades de Campina Grande, João Pessoa, Recife, Natal e Salvador em três situações: polietileno de alta densidade virgem (JV 060), polietileno de alta densidade pós-consumo (com traços de polietileno de baixa densidade) e polietileno de alta densidade para aplicação em caixa de bebidas, os dois primeiros aditivados para aplicação em utilidades domésticas e o último para utilidades industriais. Os materiais foram então expostos às condições naturais de degradação por um período de 180 dias e avaliados quanto às propriedades mecânicas.

Através dos resultados obtidos constatou-se que o polietileno de alta densidade virgem após 180 dias de exposição apresentou propriedades físicas semelhantes aos polietilenos pós-consumo. Os polietilenos pós-consumo das cidades de Campina Grande, Natal, Recife e João Pessoa não apresentam diferenças entre si. O polietileno reciclado para aplicação em caixa de

bebidas em virtude da aditivação específica apresentou propriedades superiores quando comparado com os demais reciclados.

**Palavras-chave:** polietileno pós-consumo, propriedades mecânicas, variáveis climáticas.

## INTRODUÇÃO

O crescente uso dos materiais plásticos, impulsionados pela diversidade de propriedades e características, tem resultado na utilização múltipla destes materiais e contribuiu de forma muito nítida para o agravamento do problema ecológico causado pelos resíduos acumulados. Dados estatísticos recentes indicam para a produção e o descarte anual de 52 milhões de toneladas por ano de um grupo de plásticos – os commodities, que podem levar mais de 50 anos para serem degradados [1].

O Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) e o Polietileno de Alta Densidade (PEAD), são os mais utilizados na fabricação de diversos artefatos, por exemplo, utilidades domésticas, peças para automóveis, brinquedos, etc.

No Brasil, a demanda por plásticos tem se expandido. No período de 1992 a 1996, o consumo de polietilenos cresceu cerca de 14,7% ao ano e até o ano 2.000, os especialistas projetam uma taxa de crescimento de 9% [2].

Na Paraíba e, por extensão, nos demais estados da Federação prevalece a reciclagem primária, ou seja, as empresas reaproveitam os resíduos gerados internamente. Entretanto, a Petromix S/A, empresa do grupo Polyútil S/A – Indústria e Comércio de Materiais Plásticos, processa aproximadamente 500 ton/mês de polietilenos, adquiridos diretamente dos lixões, reincorporando-os ao processo produtivo. A coleta destes materiais é realizada em 07 estados nordestinos e 02 da região norte.

Os reciclados de materiais plásticos pós-consumo têm obtido um valor superior de comercialização quando estes materiais são segmentados de acordo com as especificações e do tipo do polímero. Por exemplo, a partir das técnicas de processamento utilizado para obtenção do artefato: extrusão, injeção, sopro, termoformagem, rotomoldagem, etc.

A oxidação dos polímeros depende basicamente de dois fatores: estrutura química e morfologia [3-4]. Em geral, borrachas poliinsaturadas são bastante susceptíveis a oxidação por causa da dupla ligação existente e da ausência de cristalinidade.

As poliolefinas que relativamente possuem poucas ligações duplas são muito mais estáveis. A facilidade de oxidação destas depende do número de carbonos terciários na cadeia. A relação de facilidade de oxidação é relacionada em quadro a seguir:

Polietileno de alta densidade

Polietileno de baixa  
densidade

Polipropileno

---

### OXIDAÇÃO

A presença de grupos elétron - atraentes em polímeros, aumenta a estabilidade a oxidação do mesmo. Biggs, Beachell e Hawkins [5] verificaram que o nível de oxidação aumenta com o grau de ramificação do polímero, ou seja, quanto maior a proporção de carbonos terciários, maior é a tendência à oxidação. Assim, poliamidas, polyésteres, acrílicos e polímeros halogenados são relativamente estáveis à oxidação. Por exemplo, o politetrafluoretileno (PTFE), comercialmente conhecido como Teflon é extremamente resistente à oxidação e não é biodegradável.

Os polímeros estão susceptíveis à oxidação nas diversas fases da manufatura até o uso final. Os estágios nos quais a degradação ocorre são: processamento, armazenamento, uso e durante a exposição ao meio ambiente.

Estudos sobre a influência de contaminantes em polietileno reciclado são escassos. Sikora e Bielkins [6] conduziram um experimento utilizando filmes reprocessados de diversos tipos de

polietilenos contaminados com resíduos de fertilizantes agrícolas de 0 até -5,0%. Constataram um decréscimo na resistência à tração, alongamento na ruptura e módulo de Young, com o aumento da contaminação. Estudos conduzidos por Soares [7], utilizando materiais pós-consumo cedidos pela Petromix investigando a influência de seleção sucessiva nas propriedades mecânicas, apresentaram a maior sensibilidade do alongamento na ruptura e praticamente, nenhuma alteração da resistência à tração e módulo de elasticidade. Alcântara pesquisou, para o mesmo material, a influência nas propriedades mecânicas, térmicas e termo-mecânica de extrusões sucessiva (08), mantendo fixos o perfil de temperatura e a rotação da rosca com a incorporação de estabilizante e agente compatibilizante. A variação relativa ao índice de fluidez foi relativamente pequena, passando de 2,51 g/10 min na recepção do material para 2,41 g/10 min no oitavo ciclo. Utilizando o PEAD, Ryborz demonstrou que a temperatura é o fator mais relevante nas características do fluxo de um material [8-9].

Em outro estudo Sikora [6] e Bielkinsk [5] descreveram o efeito de três tipos de polietileno – virgem, virgem reciclado e pós-consumo, quando expostas à degradação natural por um período de um e dois anos em condições ambientais não quantificadas. O polietileno pós-consumo mostrou ser mais sensível à degradação do que os outros dois tipos, quando avaliado através do alongamento na ruptura.

A investigação realizada por Alcântara [10], submetendo o material reciclado pós-consumo a oito etapas de extrusão com perfil de temperatura de 165 a 2000 °C em extrusora de laboratório (Reômetro de Torque System 90 da Haacke-Blüchler) e demais condições constantes não apresentaram variação significativa no índice de fluidez que passou de 2,51 g/10 minutos para 2,41 g/10 minutos.

Este estudo visa avaliar as condições dos materiais oriundos das cidades de Campina Grande, João Pessoa, Recife, Natal e Salvador e de um polietileno virgem, submetendo-os às condições de degradações conhecidas e avaliá-los quanto às propriedades mecânicas. Estes materiais serão comparados, apresentando um quadro dos materiais plásticos, base polietilenos, reciclados na Petromix S/A que deverão ser moldados pelo processo de injeção, em

prosseguimento a um trabalho de parceria com o Departamento de Engenharia de Materiais da UFPB iniciado em 1994.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O polietileno de alta densidade (PEAD) foi coletado nas cidades de Campina Grande, João Pessoa, Recife, Natal e Salvador em três situações: polietileno de alta densidade virgem (JV 060), polietileno de alta densidade pós-consumo (com traços de polietileno de baixa densidade) e polietileno de alta densidade para aplicação em caixa de bebidas. Os dois primeiros aditivados para aplicação em utilidades domésticas e o último para utilidades industriais. As amostras foram lavadas, enxutas, moídas e moldadas pelo processo de injeção com objetivo de obter os corpos de prova.

A exposição dos corpos-de-prova ao envelhecimento natural foi realizada por um período de 180 dias em uma estante de exposição confeccionada a partir da norma ASTM D 1435 – 85. A estante foi montada no Campus II da Universidade Federal da Paraíba, nas proximidades da Diretoria do Centro de Ciências e Tecnologia – DCCT, em direção Norte-Sul, em local livre de sombras e com risco mínimo de ações indesejáveis. A leitura do nível de radiação global incidente, além de fatores ambientais como: precipitação pluviométrica, insolação, evaporação e temperaturas máxima e média diária; foi registrada e gentilmente cedida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA, cuja localização geográfica é a seguinte: latitude 07°13' S, longitude 35°53' W e altitude 547,56 m.

Nos períodos de 0, 30, 60, 90, 150 e 180 dias de exposição, as amostras foram coletadas e, repetindo as condições típicas de uma unidade de reciclagem, foram moldadas na forma de corpos de prova de tração de acordo com a norma ASTM D638-87b. Os ensaios mecânicos de resistência à tração, carga na ruptura e alongamento foram realizados utilizando uma injetora Termoplástica da MG Indústria de Máquina LTDA (MG 80/150).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

**Dados ambientais coletados no período de exposição:**

A seguir, é apresentado o comportamento dos parâmetros ambientais registrados. As figuras 1 a 3 apresentam, respectivamente, a variação da radiação global no período, precipitação pluviométrica, evaporação, insolação, temperatura máxima e temperatura média diária no período de 180 dias.

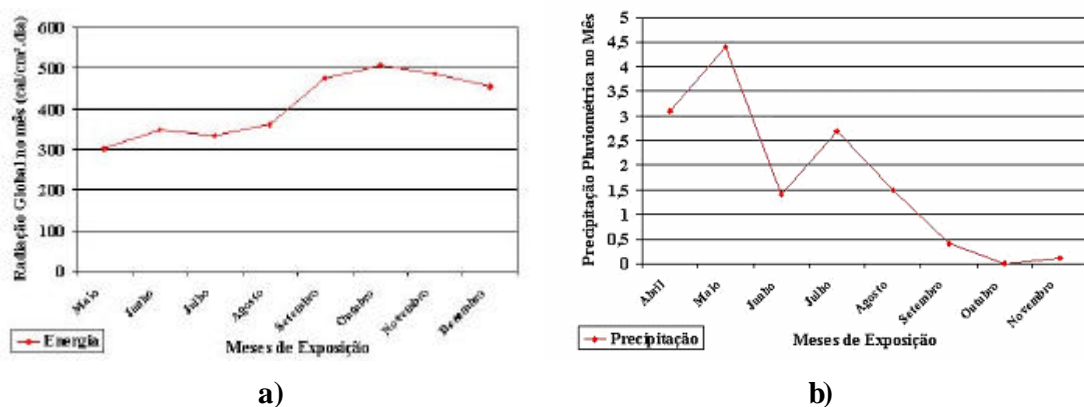


Figura 1. a) Radiação global e b) Precipitação pluviométrica no mês.

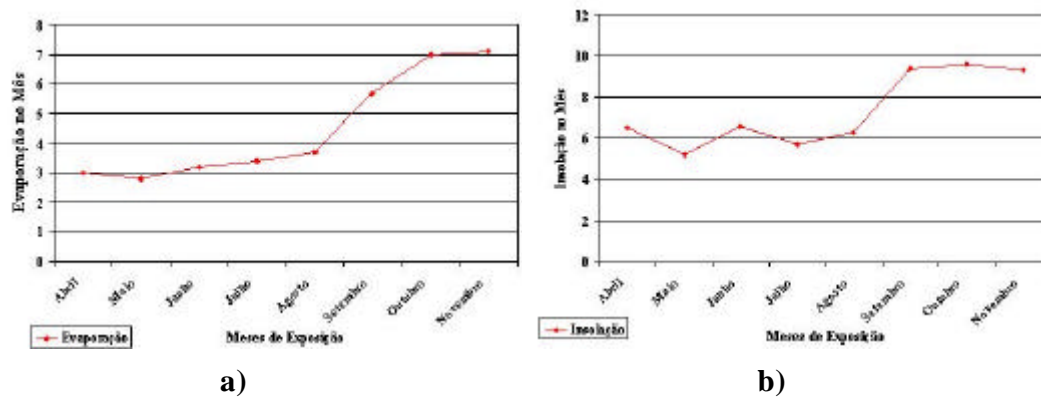


Figura 2. a) Evaporação e b) Insolação no mês.

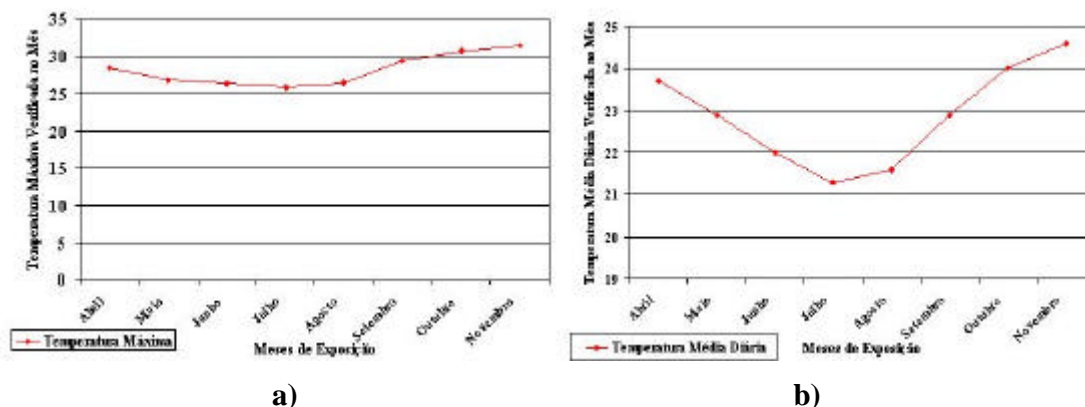


Figura 3. Temperaturas a) Máxima e b) Média Diárias verificadas no mês.

### Caracterização Mecânica.

A dispersão dos dados em testes tênses, relativamente comum, acentua-se quando se trata de materiais reciclados pós-consumo [11-12].

A análise da influência do intemperismo natural, a partir da quantificação da radiação solar, foi avaliada no período de 180 dias com medição em períodos de 30 dias das seguintes propriedades: resistência à tração, alongamento e carga na ruptura.

Estudos conduzidos com materiais de mesma procedência, por Alcântara [10], os quais avaliaram a influência da aditivação de estabilizantes térmicos e à luz das propriedades mecânicas do material reciclado submetido a oito etapas de extrusão em condições pré-estabelecidas não apresentaram variações significativas nas propriedades avaliadas. Posteriormente, Soares [6] avaliou para materiais de mesma procedência a influência da seleção nas propriedades mecânicas; variações significativas não foram quantificadas em seis tipos de materiais selecionados. As desconhecidas e variadas condições a que estes materiais foram anteriormente submetidos representaram a principal razão para os resultados obtidos neste estudo.



A resistência à tração apresentou resultados até 90 dias de exposição com uma diferença de 25%, a partir deste período com exceção do material da cidade de Salvador apresentou nítida queda nos valores. O alongamento da ruptura mostrou ser a propriedade onde o material reciclado pós-consumo oriundo dos lixões apresentou perda mais acentuada, a partir de 90 dias o material virgem sofreu uma acentuada queda nesta propriedade. Quanto à carga na ruptura a diferença permaneceu em 20% até o período de 90 dias, com queda nítida após este período.

O comportamento da propriedade mecânica, por origem no período de 180 dias, está apresentado nas Figuras 4 a 6.

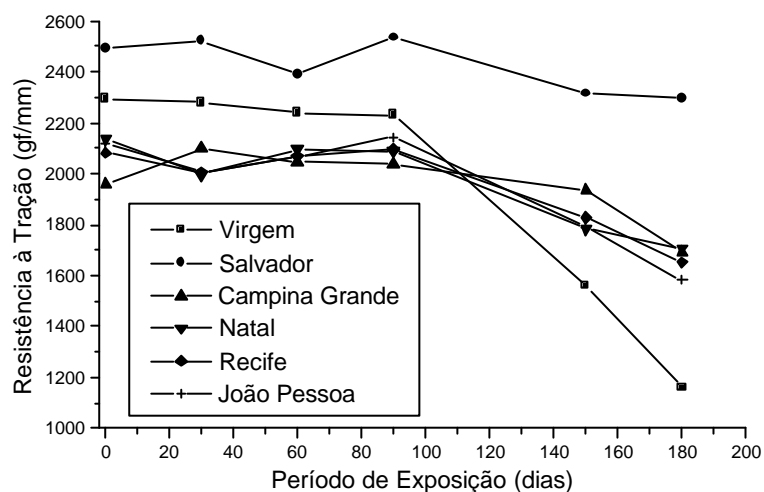


Figura 4. Efeito do Tempo de Exposição na Resistência à Tração do Polietileno.

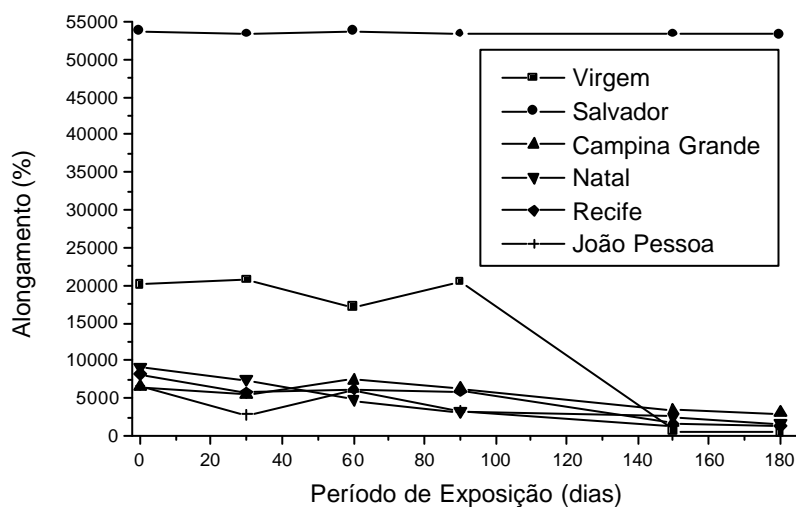


Figura 5. Efeito do Tempo de Exposição no Alongamento na Ruptura do Polietileno.

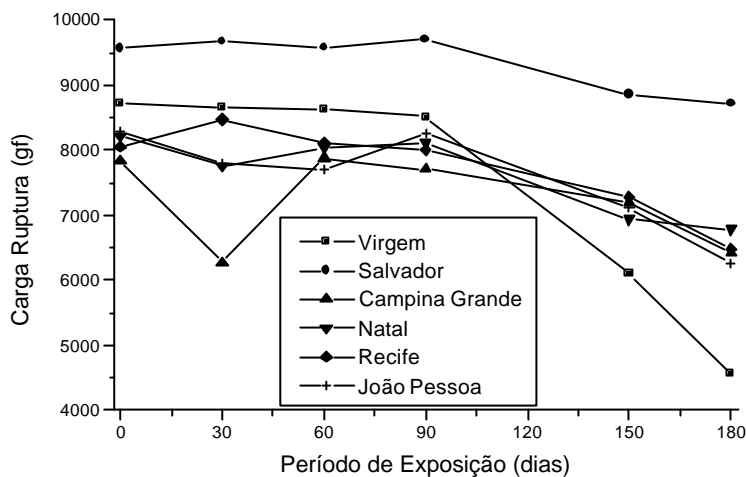


Figura 6. Efeito do Tempo de Exposição na Carga na Ruptura do Polietileno.

### CONCLUSÃO

Quanto aos materiais pós-consumo dois grupos foram detectados: Salvador (01) e Campina Grande, Natal, Recife e João Pessoa (02).

Não ocorreu variação significativa entre as propriedades avaliadas nos materiais pós-consumo das cidades de Campina Grande, Natal, Recife e João Pessoa.

Considerando que o material de Salvador (grupo 01) foi submetido à condições de exposição e, possivelmente, uso menos severos que as condições das demais cidades (grupo 02), efetivamente reciclagem secundária, a mistura destes com os reciclados primários e/ou similares ao de Salvador se apresenta como opção efetiva e operacional.

Quanto aos materiais pós-consumo dois grupos foram detectados: Salvador (01) e Campina Grande, Natal, Recife e João Pessoa (02).

Não ocorreu variação significativa entre as propriedades avaliadas nos materiais pós-consumo das cidades de Campina Grande, Natal, Recife e João Pessoa.

A caracterização do polietileno avaliado, quanto à densidade, aditivação, distribuição de peso molecular e aplicação quanto à técnica de processamento, deve ser considerada, em virtude de que tais fatores podem conduzir a diferentes comportamentos das propriedades quando da degradação.

Nas condições climáticas que os materiais foram submetidos três grupos foram detectados: virgem (1), Salvador (2) e Campina Grande, João Pessoa, Natal e Recife (3).

O material de Salvador, por apresentar aditivação específica para atender as demandas requeridas de desempenho foi o que apresentou maior resistência às intempéries.

Os materiais oriundos dos lixões (grupo 2), mesmo sendo de cidades diferentes e compreendendo uma mistura de materiais e de técnicas de processamento diferentes (extrusão-sopro e injeção), apresentaram comportamento mecânico similar.

O período de 90 dias demonstrou ser, nas condições climáticas a que os materiais foram submetidos, suficientes para alterar as propriedades mecânicas dos materiais. De forma mais nítida os grupos 2 e 3.

O alongamento na ruptura demonstrou ser a propriedade mecânica em que a degradação foi mais perceptível nos três grupos de materiais.

**Agradecimentos.** Capes/PICDT, Capes, EMBRAPA-Campina Grande e Departamento de Ciências Atmosféricas – UFPB.

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. Panayotou “*Mercados Verdes: A economia do desenvolvimento alternativo*”. Theodore Panayotou, apresentação de Oscar Arias. Rio de Janeiro: Ed. Nórdica Ltda, 1994
- [2] M.V.L. Fook, A.G. Souza, M.F.S.Trindade, M.M. Conceição, J.C.O. Santos, S. C. Prasad, V.J. Fernandes Jr, S.C.L. Crispim, J. Therm. Anal. & Calorim., **75**, 513 (2004)
- [3] S.J. Gourlay, R.M. Rice, A.F. Hegyeli, C. Wade, J.D. Dillon, H. Jaffe y R.K. Kulkarni, J. Biomed. Mater. Res., **12**, 219 (1978).
- [4] M.V.L. Fook, E.M. de Araújo, T.J.A. de Melo, N.A. de E.S. Souza, Z.I. “*Gama. Coleta seletiva de resíduos urbanos – conscientização e importância da reciclagem*”. II Encontro de Extensão da UFPB. João Pessoa – Paraíba. 1995.
- [5] H.V. Boenig “*Polyolefins: Structure and Properties*”. Elsevier Publishing Company Inc., 1966.
- [6] R.Sikora, M. Bielinski. Kunststoffe. **78(4)**, 335 (1988).
- [7] G. S. Soares “*Análise do Processo de Reciclagem de uma Transformadora de Resíduos Plásticos*”. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, 1995.
- [8] D. H. Ryborz, Kunststoffe. **69**,134 (1979).
- [9] G. Scott y D. Gildead “*Degradable Polymers: Principles and Applications*”, 5ª edición. Chapman and Hall, Nueva Yorka 1995
- [10] R. de L. Alcântara “*Propriedades Mecânicas de Materiais Reciclados à Base de Poliolefinas*”. Um Estudo Preliminar. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, 1995
- [11] Ehrig, R.J. “*Plastics Recycling: Products and Processes*”, Hanser, Munich 1992.
- [12] G. Scott “*Atmospheric Oxidation and Antioxidants*”, 2ª edición. Elsevier Science Publishers, p. 389 (1993)