

## Meio ambiente e materiais poliméricos: Breves considerações com ênfase ao Politereftalato de Etileno (PET) e processos de degradação

### RESUMO

Este artigo tem como foco discutir e abordar a temática de meio ambiente relacionada a questão dos materiais poliméricos e seus impactos no ambiente, bem como construir considerações sobre os processos de degradação que acometem os mesmos. Considera-se que para a gestão ambiental dos recursos existentes é de fundamental importância a discussão do tema apresentado, que serve como embasamento para futuras decisões e pesquisas que auxiliem na solução da problemática abordada. A principal conclusão é que as questões ambientais relacionadas a solução para a problemática vivida perpassam por discussões importantes sobre a origem e o dado desenvolvimento, para que embasadas forneçam subsídios para pesquisas aplicadas em prol de novas tecnologias e tecnologias já existentes que se sejam eficientes na solução dos problemas ambientais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tecnologias Ambientais; Materiais Poliméricos; Meio Ambiente.

**Marivane Turim Koschevic**

[marivane.koschevic@gmail.com](mailto:marivane.koschevic@gmail.com)

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná (UTFPR), Medianeira, Paraná,  
Brasil.

**Paulo Rodrigo Stival Bittencourt**

[paulob@utfpr.edu.br](mailto:paulob@utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná (UTFPR), Medianeira, Paraná,  
Brasil.

## INTRODUÇÃO

Pode-se considerar que as atividades humanas são em parte responsáveis pela degradação e/ou alterações do ambiente natural existente no planeta Terra. Tais degradações se constituem em problemas ambientais e, pressupõem, a necessidade de se buscar soluções para tais problemas (MILLER, 2007).

O desperdício de recursos, a pobreza e até mesmo a falta de responsabilidade ambiental, são consideradas algumas das principais causas geradoras de problemáticas ambientais. Também pode-se citar o aumento populacional que promove a elevação da demanda por produção alimentícia e seus impactos, e o crescimento urbano que por vezes ocorre de maneira desordenada, não considerando as características e a diversidade do meio físico (MANO, PACHECO e BONELLI, 2005; OLIVEIRA, HERRMANN, 2006 e MILLER, 2007).

A expansão populacional estabelece o aumento da produção de mercadorias que “exige, por um lado, a mercantilização da sociedade e, de outro, mais recursos naturais”. No entanto, a “produção dos bens e serviços para satisfazer as necessidades humanas, bem como o consumo dos mesmos, geram resíduos, líquidos e sólidos, que na sua imensa maioria são tratados como lixo” (LINO, 2011, p. 17, p. 61).

Lixo segundo Mucelin e Bellini (2008, p. 113) é originário do “latim *lix*, significa cinzas, vinculado às cinzas dos fogões”, comumente atribuído a algo sem utilidade. “É inevitável à geração de lixo nas cidades devido à cultura do consumo”, e com o intuito de evitar prejuízos ambientais decorrentes, salienta-se a necessidade de pensar o ciclo de vida e correto gerenciamento do lixo. A legislação brasileira determina que as cidades são responsáveis pela elaboração dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos, que contemplam aspectos sobre a geração, segregação, tratamento e disposição final dos resíduos (PNRS, 2012).

A geração do lixo remete a responsabilidades que devem ser compartilhadas entre sociedade, poder público e iniciativa privada. Quando os resíduos sólidos não recebem destino final adequado, podem provocar uma série de passivos ambientais, como a perda da biodiversidade ecológica através da morte de animais silvestres, em virtude da ingestão de sacos plásticos e outros materiais (MEDEIROS, 2011). Outros problemas como os destacados por Mucelin e Bellini (2008) ao mencionarem a “contaminação de corpos d’água, assoreamento, enchentes, proliferação de vetores transmissores de doenças, [...] entre outros”.

No Brasil, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2012) os resíduos sólidos são compostos de 51,4% resíduos orgânicos, 31,9% de materiais recicláveis oriundos de embalagens e produtos descartáveis, nessa porcentagem incluem-se 13,5% de plásticos, 13,1% de papel, papelão e tetrapak, 2,9% metais, 2,4% vidros, 2,3% aço e 0,9% alumínio, o restante da somatória geral 16,7% é constituído por outros materiais.

Os plásticos destacam-se nesse cenário por serem materiais potencialmente poluentes de lenta degradabilidade e/ou pouca biodegradação (MILLER, 2007). A exemplo disso, o Brasil é responsável por cerca de 2% da produção mundial de plásticos e os segmentos que mais utilizam esse material são: a construção civil

(16%) e a indústria de alimentos e bebidas (16%), seguidos pelo setor de automóveis e autopeças (15%).

Na indústria de bebidas o destaque é o uso do politereftalato de etileno (PET), utilizado para o envase de bebidas carbonatadas, devido a suas ótimas propriedades mecânicas, térmicas aliadas ao seu baixo custo de produção (ROMÃO, SPINACÉ e PAOLI, 2009). Este material pode sofrer degradações em virtude da exposição ao ambiente, por meio da radiação de alta energia, como a luz ultravioleta.

Entre os estudos realizados acerca deste material, evidenciam-se pesquisas na área de reciclagem (ALMEIDA, *et al.*, 2013), produção de compósitos (RAMIREZ, *et al.*, 2010), biodegradabilidade (SILVA, 2009; DAMBRÓS, *et al.*, 2014), avaliação das propriedades de plásticos reciclados (MARCONCINI e RUVOLO FILHO, 2006), entre outros, estes são realizados com o intuito de buscar novas tecnologias para a minimização dos impactos ambientais causados por estes materiais quando dispostos inadequadamente no ambiente.

Nesta introdução o principal objetivo é formular um panorama geral da questão dos materiais poliméricos em especial do politereftalato de etileno, alvo deste estudo, e sua relação com as questões ambientais.

Doravante o texto está estruturado em seções, incluídas as considerações finais e referências. A primeira seção, abrange o meio ambiente e sua relação com os materiais poliméricos em geral associados a processos de degradação ambiental. Na segunda seção aborda-se especificamente o politereftalato de etileno (PET) sob a perspectiva da composição de garrafas utilizadas pela indústria de bebidas carbonatadas, uma importante aplicação deste material no setor industrial. Em seguida são relacionados o PET e sua aditivação e obtenção de garrafas, e o próximo tópico contempla a questão da degradação de materiais poliméricos. Por fim traçamos algumas considerações finais e apresentamos as referências desta pesquisa.

## **MEIO AMBIENTE E A DEGRADAÇÃO AMBIENTAL**

Um ecossistema pode ser definido como um conjunto de fatores bióticos e abióticos, o primeiro contempla os organismos autotróficos, capazes de fixar a energia luminosa e produzir alimentos a partir de compostos inorgânicos, bem como os organismos heterotróficos, que utilizam, reorganizam, e decompõem os materiais complexos gerados pelos autotróficos. O segundo, compõe-se de elementos básicos compostos pelo meio, como a luz, temperatura, disponibilidade hídrica entre outros, fatores ausentes da presença de seres vivos. Nesse conjunto de fatores, ocorre à interação dos organismos vivos com o meio físico, que forma os ciclos de energia e matéria, fato que promove a ciclagem de nutrientes e o constante equilíbrio (PHILIPPI JR e PELICIONI, 2009).

O desenvolvimento tecnológico aplicado à indústria de bens de consumo evoluiu gradativamente com o passar das décadas, observa-se na sociedade moderna avanços em diversas áreas do conhecimento e, muitos perpassam pelo desenvolvimento de materiais poliméricos versáteis e de ampla utilização. A amplitude desse efeito pode ser observada quando atribuímos ao período histórico vivido, século XXI, como a “era dos plásticos” (PIATTI e RODRIGUES, 2005).

Assim, um ecossistema denominado urbano pode ser definido como aquele onde as alterações ocorridas em função da ação antrópica, são mais significativas, com características bem específicas, como a alta densidade urbana, relação desproporcional entre o ambiente construído e o natural, importação energética para a manutenção do sistema em funcionamento, elevado volume de geração e armazenamento de resíduos, alteração da diversidade biológica nativa, com a retirada de florestas e importação de espécies, desregulação dos principais ciclos biogeoquímicos, como da água, carbono, nitrogênio e fósforo, ainda a impermeabilização dos solos e alteração dos cursos d'água (PHILIPPI JR e PELICIONI, 2009).

Considera-se que os materiais poliméricos são utilizados pela humanidade há muito tempo, como exemplo, cita-se o algodão, que é constituído pelo polímero mais abundante na natureza, a celulose. A partir da segunda metade do século XIX os polímeros artificiais começaram a ser produzidos, modificados de macromoléculas naturais (LINO, 2011).

Os materiais poliméricos, popularmente conhecidos simplesmente como plásticos, possuem características importantes que enfatizam e justificam seu amplo uso comercial. É possível classificar os polímeros de forma genérica a partir de seu processamento, citam-se categorias definidas como: os termofixos, os elastômeros, os termoplásticos e os plásticos de engenharia (PAOLI, 2008).

Os polímeros termofixos ou termorrígidos conformam-se quimicamente em rede ou em retículo. São moldados na forma de pré-polímero e depois submetidos a um processo de "cura", no qual adquirem a forma do molde por reações químicas cruzadas entre as cadeias e se solidificam, quando assumem a forma definitiva não podem ser moldados novamente por aquecimento. Depois de moldados tornam-se materiais insolúveis, infusíveis e não recicláveis, como exemplos, cita-se a resina de fenol-formaldeído (baquelite), o epóxi (araldite), entre outros (CANEVAROLO Jr., 2006; PAOLI, 2008).

Os elastômeros, como as borrachas ou gomas, são materiais que apresentam grande elasticidade, e podem sofrer deformações sem se romper, de modo geral, necessitam um processo químico de reticulação das cadeias poliméricas, como a vulcanização, para que possam ser utilizados. Ainda, existem os chamados "elastômeros termoplásticos" que são conformados pelos mesmos procedimentos usados para os termoplásticos (PAOLI, 2008).

Os termoplásticos podem ser moldados por aquecimento diversas vezes, quando aquecidos, tornam-se extremamente viscosos e, assumem diferentes formas, são amplamente utilizados devido a suas propriedades mecânicas e de baixo custo, no entanto, apresentam baixa biodegradabilidade, fato que condiciona-os como materiais persistentes e acumulativos no ambiente. Como exemplo cita-se o polietileno, poliestireno, PVC, entre outros (SILVA e SILVA, 2003; OJEDA, 2008; PAOLI, 2008).

Os plásticos de engenharia classificam-se como materiais poliméricos que podem ser moldados a frio, como pelo processo de usinagem. Não obstante, a maioria também pode ser moldada como termoplástico (PAOLI, 2008).

No Brasil, o consumo de materiais poliméricos tem crescido nos últimos anos, impulsionado pelo ramo da construção civil, indústrias de embalagens, alimentos e bebidas, e autopeças/automotivas. Entre os motivos de destaque

para o aumento do consumo destes materiais, estão: o baixo custo de produção, a leveza, a elevada resistência mecânica, a facilidade de fabricação de peças em variadas formas, tamanhos e cores (ABIPLAST, 2012; SANTOS *et al.*, 2013).

Ressalta-se de acordo com a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2012) que uma importante vantagem dos materiais plásticos é observada pela reciclabilidade intrínseca destes produtos, isso implica em diminuição no consumo de matéria prima, e o resíduo pode ser reutilizado no processo produtivo com o ciclo renovado, Miller (2007) afirma que o processo de reciclagem e de reaproveitamento de mais recursos materiais diminuem a velocidade com que ocorre a depleção de recursos não renováveis e reduzindo o impacto causado no ambiente.

Os polímeros tendem a demorar séculos para degradar-se no ambiente e ocupam grande parte do volume em aterros sanitários, fato que interfere negativamente nos processos estabilização biológica ou compostagem (SPINACÉ e PAOLI, 2005).

Ao que tange os aspectos ambientais da produção de materiais poliméricos, um dos principais problemas evidenciado é o descarte inadequado, como em lixões, encostas, terrenos baldios, fundos de vale, e rios, entre outros (SPINACÉ e PAOLI, 2005), assim como aos demais resíduos sólidos consistem em uma série de problemas de saúde pública, como o desenvolvimento de vetores de doenças, como artrópodes, e roedores, que transmitem doenças como a leptospirose ou a peste bubônica entre outras (PHILIPPI JR e PELICIONI, 2009).

Habitualmente observa-se a cultura da produção e consumo de bens descartáveis. Tudo aquilo que não tem utilidade, ou é considerado ultrapassado é tratado como lixo e, comumente, utiliza-se a expressão “jogar fora” para um hábito considerado inadequado à preservação de recursos ambientais. No entanto, é importante fazer uma ressalva acerca dessa afirmativa: de acordo com a lei da conservação da matéria “podemos mudar os elementos e compostos de uma forma física para outra, mas nunca criar ou destruir qualquer um dos átomos envolvidos em qualquer alteração física ou química”. Com base neste pressuposto observa-se que não é possível o ato de “jogar fora”, ou seja, todas as coisas que são descartadas continuam no ambiente, de alguma forma (MILLER, 2007, p. 26).

Lino (2011, p. 64) disserta que sob a perspectiva histórica o problema da degradação ambiental é muito grave, apesar de ser um tema relativamente recente em estudo, os impactos que os resíduos sólidos podem causar ao meio ambiente são facilmente constatados por meio do tempo estimado que materiais comumente descartados demoram para se degradar, como exemplo os plásticos, que podem levar décadas para se decompor.

A sociedade moderna caracteriza-se pela industrialização, concentração populacional urbana e incentivo ao consumo. O padrão de produção a partir da industrialização consome os recursos naturais, na maioria das vezes de forma predatória e, o consumo exacerbado de bens estimula a elevada produção da indústria. Essa conformação repercute em determinados problemas sociais e ambientais que podem ser agravados com a falta de reciclabilidade para que exista o retorno dos resíduos em novos ciclos produtivos.

Quando os resíduos são dispostos de forma inadequada no ambiente estes provocam impactos sociais, como o acúmulo em vias públicas, e ambientais, o acúmulo do lixo propicia a poluição do solo, do ar e da água, dos lençóis freáticos, poluição visual, desequilíbrio ecológico, proliferação de macro e micro vetores, entre outros (CENTENARO e SPOLADORE, 2004; PEREIRA, 2011, e ENEDINO *et al.*, 2011).

O alto consumo de recursos naturais em bases consideradas insustentáveis, resulta na degradação do ambiente físico, biológico e social, e tem relação com a elevação do risco de agravo a saúde pública (PHILLIPPI JR e PELICIONI, 2009).

### O POLITEREFTALATO DE ETILENO - PET

Os polímeros apresentam massa molar na ordem de  $10^4$  e  $10^6$  unidades e são formados pela repetição de inúmeras unidades químicas, unidades estruturais simples, chamados monômeros, que são as substâncias que os originam. Na formação dos polímeros os monômeros estão ligados entre si por ligações covalentes (AKCELRUD, 2007).

A principal matéria-prima dos plásticos é o petróleo, mais especificamente da fração de nafta petroquímica que é usada como matéria-prima para produzir os etilenos, propenos, butadienos, benzenos, toluenos, entre outros (AKCELRUD, 2007; SILVA, 2009; LINO, 2011). Na figura 1 pode ser observado um esquema da produção do polímero PET e das garrafas PET a partir de seu ciclo de vida.

Figura 1: Diagrama de produção do polímero e das garrafas PET.



Fonte: Adaptado de Valt (2007).

Na década de 1930, Wallace H. Carothers sintetizou o primeiro poliéster linear com base nos monômeros de trimetileno glicol e do ácido dicarboxílico hexadecametileno, no entanto, esse polímero ainda apresentava características que dificultavam e reduziam a qualidade final do produto, como a falta de

estabilidade hidrolítica e baixa temperatura de fusão. Adiante na história, em 1946, os químicos ingleses, Whinfield e Dickson sintetizaram o politereftalato de etileno (PET), com alta temperatura de fusão, aproximadamente 265°C, e estabilidade hidrolítica conferida pelos anéis aromáticos presentes na estrutura (ROMÃO, SPINACÉ e PAOLI, 2009). A nomenclatura oficial, que pode ser conferida pela IUPAC (do inglês - *International Union of Pure and Applied Chemistry*), é em inglês *Poly(ethylene terephthalate)* que, traduzido para o Português, torna-se poli(tereftalato de etileno).

A partir da década de 60 inicia-se o processo de aceitação do PET para embalagens alimentícias, impulsionado pelo processo de injeção e sopro desenvolvido pela Du Pont, em 1973 com aplicação em garrafas. O PET revolucionou o mercado de embalagens, especialmente o de bebidas carbonadas (FORMIGONI e CAMPOS, 2007). Em 1977, têm-se relatos da amplitude da utilização do PET em diversas embalagens e como plástico de engenharia, por ser um tipo de plástico apropriado para várias manufaturas, em virtude da capacidade de adaptar-se a diversas formas (SILVA, 2009; LINO, 2011; MOURA, 2011).

Outras características do PET, contemplam uma massa molecular de 15.000 a 42.000g/mol, possuindo uma densidade de 1,33 a 1,45 g/cm<sup>3</sup>, um índice de refração de 1,65 a 1,66, uma temperatura de transição vítrea de 70 a 74°C, e temperatura de fusão em torno de 250 a 270°C (OJEDA, 2008; OLIVEIRA, 2011).

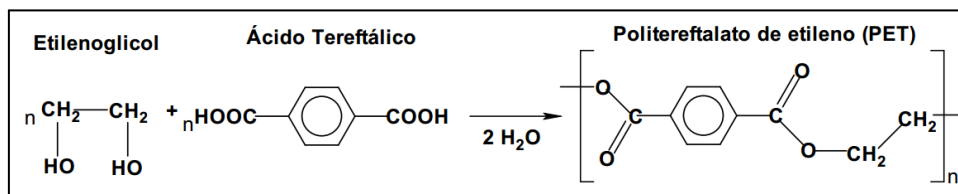
Considera-se que o PET pode apresentar uma tensão de alongamento entre 55 a 80 (MPa), um módulo de Young de 2,1 a 3,1 (GPa), uma taxa de transparência, em torno de 70 a 90 % de luz visível transmitida. Outro detalhe importante sobre o processamento do PET é sua característica higroscópica, pois, este pode absorver aproximadamente 0,03% de umidade, por esse motivo a secagem do material se faz necessária, para evitar falhas no processo produtivo (COELHO, 2013).

Em parte, pode-se atribuir a utilização do PET na fabricação de garrafas de bebidas carbonatadas a uma parceria que se estabeleceu entre as indústrias de bebidas e de plásticos, pois as primeiras precisavam ampliar seu mercado, com diferentes embalagens de diferentes tamanhos para seus produtos. Outro fator interessante é a baixa permeabilidade ao oxigênio e ao dióxido de carbono que estabeleceu o PET como adequado para a produção de refrigerantes. Outras características ainda foram aproveitadas, como a transparência, a inertização ao líquido, leveza, entre outras (LINO, 2011).

Considerado da família dos poliésteres, o PET é um polímero termoplástico, e uma das formas de sua obtenção é através da polimerização de um ácido dicarboxílico e um glicol ou bifenol que pode ser formado pela reação entre o ácido tereftálico e o etilenoglicol, que reúnem as características ideais para uma reação gradual de policondensação (MANCINI, BEZERRA e ZANIN, 1998; MIRANDA e SILVA, 2004; JARA, 2007; LINO, 2011; SHIMAMOTO, *et al.*, 2011).

Na Figura 2 exemplifica-se uma das reações mais comuns para a formação do PET.

Figura 2: Modelo comum - reação química para formação do politereftalato de etileno (PET).



Fonte: Adaptado de Miranda e Silva (2004).

Silva (2009) relata a obtenção do PET a partir dos monômeros dimetiltereftalato cristalizado (DMT) e monoetilenoglicol (MEG), por meio de transesterificação, que forma o Dihidroxi-etileno Tereftalato (DHET), um monômero do PET. Essa reação ocorre com a presença de catalisador e liberação de metanol, e gera o monômero puro (DHET), o qual é ampliado em 80 vezes aproximadamente para a cadeia final do PET ser obtida o grau de polimerização (fator  $n$ ), indica número de unidades de repetição da cadeia polimérica. Canevarolo Jr. (2006) afirma que as reações são contínuas até que se alcance a massa molecular ideal e o PET esteja totalmente formado.

Composto por uma molécula linear, o PET, pode ser considerado um sólido com uma fase cristalina e outra amorfa, um material semicristalino. Pode-se considerar o PET um polímero cristalizável, cuja região amorfa é caracterizada pela desordem completa das macromoléculas, enquanto as regiões cristalinas, apresentam segmentos de cadeias poliméricas arranjados de forma ordenada, que formam um empacotamento regular denominado cristalito. Os cristalitos podem apresentar diferentes morfologias, como as lamelas, ou esferulitos (PAOLI, 2008; M&G, 2009; COELHO, 2013).

A relação entre fases amorfas e cristalinas origina o polímero semicristalino. Considera-se que a quantidade e a maneira como essas regiões (amorfas e cristalina) ficam distribuídas no polímero sólido dependem das condições térmicas e mecânica as quais o PET é submetido durante seu processamento (M&G, 2009).

A relação estequiométrica entre as estruturas cristalinas e amorfas é chamada de grau de cristalinidade (PAOLI, 2008), atribui-se o nível máximo de cristalinidade alcançado em 55% - 60%. Para a fabricação das garrafas PET de refrigerante o ideal é que a cristalinidade esteja em 25% (MOURA, 2011).

O fator produtivo que pode determinar a obtenção das porcentagens de PET cristalino é a forma como a resina é resfriada. Considera-se que, se depois da fusão o resfriamento for realizado de forma lenta, o produto final será a resina mais cristalina. A cristalinidade, ainda pode ser determinada por meio do uso de aditivos como os agentes nucleantes, como o talco. É possível observar que o grau de cristalinidade influencia em diversas propriedades finais de um polímero, como a transparência a luz, propriedade de barreira a gases e propriedades mecânicas de tração e impacto (PAOLI, 2008).



## ADITIVAÇÃO DO PET

Uma prática comum nas indústrias de polímeros é a adição de substâncias, como os aditivos, com o intuito de conferir propriedades especiais à resina polimérica (PIATTI e RODRIGUES, 2005).

Destacam-se como aditivos mais comuns, os plastificantes, estabilizantes térmicos, anti-UV e antioxidantes. Alguns trabalhos mencionam o PET como um material livre de aditivos (COLTRO e BURANTIN, 2004). No entanto, alguns pesquisadores (COLTRO e BURANTIN, 2004; DIAS, *et al.*, 2004; TAKAHASHI *et al.*, 2004) têm identificado em PET grau-alimentício, casos de presença quantificada desses aditivos. O fato preocupante nesses materiais é a provável migração de compostos de baixo peso molécula, oriundos do processo produtivo da resina, da aditivação, e de resíduos provenientes dos processos de conversão, como os catalisadores, para o alimento. Para tanto a utilização destes compostos é regulada por legislações específicas.

No Brasil, a utilização destes aditivos e de outras substâncias é regulada pela Portaria nº 26 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), a portaria foi implementada a partir da criação do Mercado Comum do Sul (MERCOSUL), esta resolução, assim como outras, a Resolução nº 17, de 17 de março de 2008, ou Resolução nº 56, de 16 de novembro de 2012, estabelecem uma lista positiva das resinas e polímeros para embalagens de alimentos e refrigerantes, e equipamentos que entrem em contato com alimentos, a exemplo a Resolução nº 105 ANVISA, ainda, estabelece os limites de migração específica estabelecidos para algumas substâncias de partida do PET (NASSER, LOPES e MONTEIRO, 2005).

Os aditivos de modo geral, são incorporados nos polímeros no processo de fabricação da resina com a finalidade de obter homogeneização do material e uniformidade de suas propriedades (ALVES, 2004). Os estabilizantes secundários com fósforo em sua base são normalmente adicionados junto dos catalisadores durante o processamento e reprocessamento do PET, são eles, que previnem reações de degradação termo-oxidativas, e inibem a etapa de propagação e transformam o grupo hidroperóxido em produtos não radiculares (ROMÃO, SPINACÉ e PAOLI, 2009).

Os estabilizantes absorvedores de UV, são considerados substâncias orgânicas específicas utilizadas para retardar as reações químicas iniciadas pela radiação UV artificial, sobre a superfície dos materiais poliméricos, com ampla utilização em PET, o Tinuvin 234 (2-(2-hidroxi-3,5-di(metil benzil)fenil benzotriazol), tem seu uso máximo permitido na concentração 0,5 % (ALVES, 2004; PAOLI, 2008).

Conforme Piatti e Rodrigues (2005), na Figura 3 estão elencados os principais tipos de aditivos industriais utilizados na fabricação de plásticos atrelados à função requerida.

Figura 3: Principais aditivos utilizados na indústria de plásticos e suas funções.

ADITIVO	FUNÇÃO
PLASTIFICANTE	Aumentar a flexibilidade;
ESTABILIZANTE TÉRMICO	Evitar a decomposição por aquecimento;
ESTABILIZANTE UV	Evitar a decomposição causada por raios UV solares;
RETARDADOR DE CHAMAS	Reduzir a inflamabilidade;
LUBRIFICANTE	Reduzir a viscosidade;
CARGA	Aumentar a resistência ao desgaste por abrasão e reduzir o custo do material;
ANTIOXIDANTE	Minimizar a oxidação provocada por oxigênio e ozônio atmosféricos;
PIGMENTOS	Conferir a cor desejada;
ANTIESTÁTICO	Evitar eletrização por atrito;
AROMATIZANTE	Conferir odores desejados. Mascaram odores indesejados;
BIOCIDA	Inibir a degradação por microrganismos;

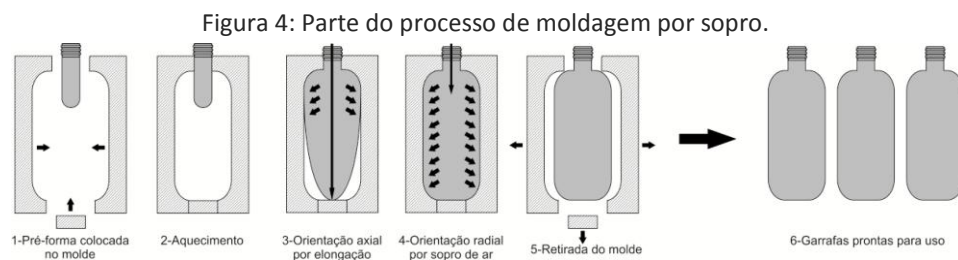
Fonte: Adaptado de Piatti e Rodrigues (2005).

Contudo os plásticos são considerados materiais inertes em virtude do tamanho e estrutura das macromoléculas, mas, como citado anteriormente, pode ocorrer à presença de moléculas pequenas que apresentem maior mobilidade, assim, constituem uma possível fonte de migração, a presença dessas pequenas moléculas também pode estar associada a processos degradativos sofridos pelo material. O teor máximo e/ou limite de migração para os monômeros do PET, como o Ácido tereftálico, é para migração específica 7,5 ppm (mg/kg) e para o mono-di-etilenoglicol é para migração específica de 30 ppm (mg/kg), essas informações são legisladas pela ANVISA e também seguem as mesmas exigências a nível europeu (ANVISA, 1999).

### OBTENÇÃO DE GARRAFAS PET

Considera-se que a partir da fabricação da resina, o polímero pode ser extrusado, resfriado para a produção dos grânulos. Os grãos de PET após a secagem seguem para o processo industrial de fabricação das pré-formas. Nesse processo os grânulos de resina são submetidos a plastificação, que os torna viscosos o suficiente para o processo de moldagem, posteriormente o material amolecido é injetado no molde com o auxílio de uma alta taxa de pressão, temperatura e velocidade, que termina com o resfriamento por uma rápida troca térmica. A pré-forma se desprende do molde e podem ser conduzidas a um engarrafador, por meio do qual com um sopro de ar quente a resina termo moldável se expande e origina a garrafa PET, normalmente após esse processo ocorre a lavagem para a retirada do pó e segue para o processo de envase (VALT, 2007).

Na figura 4 é possível observar uma das formas de parte do processo de obtenção das garrafas PET. Um fator importante nessa fase é a orientação, esta pode ser dependente da taxa de estiramento do material, e da temperatura do processo e da viscosidade intrínseca do PET (adaptado de M&G, 2009).



Fonte: Desconhecida

Após a obtenção das garradas PET, processos tribológicos podem ocorrer, em vista da exposição das garrafas ao ambiente, na linha de produção, estocagem, ou transporte, como a abrasão entre superfícies e particulados, que podem ocasionar a formação de riscos e arranhões, ou até mesmo a formação de microfissuras na matriz polimérica (MELO, 2004; M&G, 2009).

Após o uso as garrafas são descartadas e seu processamento básico inclui etapas como a aquisição da matéria prima (obtenção das garrafas descartadas), posteriormente a classificação (cor, tipo), a moagem, a limpeza pela lavagem do material, o enxague, a descontaminação, a pré-secagem, a secagem, a eliminação de particulados e embalagem final do material (SANTOS, 2011), que considera-se pronto para o emprego na indústria de reciclados.

É previsto que alguns problemas, podem ser associados a reciclagem, estes perpassam pela perda de propriedades estruturais e a ocorrência de reações secundárias que podem formar o acetaldeído, ainda, oligômeros e de dietileno glicol, considerados “subprodutos”, passíveis de contaminação em alimentos, em virtude da migração dos compostos de baixo peso molecular, além destas, nos processos de reciclagem do PET podem ocorrer degradações termomecânicas e termo-oxidativas no processamento do material (ROMÃO, 2009), que influenciaram nas características desejáveis do produto final.

## DEGRADAÇÃO DE POLÍMEROS

Considera-se degradação qualquer reação química, que leve à cisão das cadeias poliméricas, e altera a qualidade de interesse do material, ou composto polimérico, e pode ser causada por diversos agentes, físicos e químicos, que promovem a alteração da estrutura de forma irreversível (BRANDALISE, 2008; PAOLI, 2008). As alterações podem ser observadas por meio da deterioração progressiva do material (RODRIGUES, 2007), tanto no aspecto macro, pelo visual apresentado, quanto no aspecto microscópico.

A degradação ou alteração das propriedades de um polímero é resultante das reações químicas de diversos tipos, estas podem ser de caráter intramolecular ou intermolecular, como exemplos citam-se os processos de despolimerização, oxidação, reticulação ou cisão de ligações químicas. Acrescenta-se ainda que a degradação pode ser causada por diferentes eventos, que dependem do material, da forma de seu uso e do seu processamento (PAOLI, 2008).

Outra definição para a degradação de materiais poliméricos está associada a qualquer reação destrutiva que possa ser causada por agentes químicos, físicos

ou mecânicos ou, ainda, os mesmos simultaneamente (RODRIGUES, 2007). Outra forma de abordar os processos degradativos dos polímeros é pela iniciação dessas reações, nos processos térmicos, fotoquímicos, mecânicos, de radiação de alta energia química ou ainda *stress-cracking* (PAOLI, 2008).

À degradação do PET está associada às mudanças em suas propriedades estruturais, causadas por reações químicas que envolvem cisões de ligações da cadeia principal da macromolécula. As reações podem ser iniciadas pela presença de resíduos catalíticos, grupos funcionais, pigmentos, insaturações, temperatura, presença de água, oxigênio, luz, entre outros (MANO, PACHECO e BONELLI, 2005).

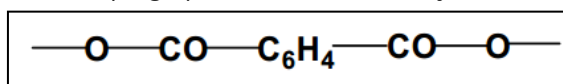
As degradações mais comuns no PET e que, também ocorrem em outros plásticos, durante a produção, processamento ou uso, são as oxidações térmicas (termo-oxidação), mecânicas e por ultravioleta (UV) (fotodegradação), além da hidrólise, que reverte a reação química da polimerização na direção dos reagentes (MANCINI, BEZERRA e ZANIN, 1998).

A fotoclivagem direta subsequente à foto-oxidação dos grupos glicol, ocasionada pela exposição à luz solar, não é uniforme e ocorre especialmente na face exposta diretamente à luz (SILVA, 2009). A termo oxidação pode ocorrer pelo ataque do oxigênio durante o processamento em altas temperaturas, enquanto a degradação pelos raios ultravioleta (UV) ocorre quando o polímero fica exposto à radiação solar por períodos prolongados (DIAS, *et al.*, 2004).

O PET absorve radiação UV nos comprimentos de onda abaixo de 300 nm, a faixa do UV-B afeta negativamente as propriedades mecânicas dos materiais, fato que acarreta a redução da vida útil do mesmo (BORRELLY, 2002; COLTRO e BURANTIN, 2004; ALVES, 2004; JARA, 2008).

No PET, o principal grupo cromóforo pode ser observado na figura 5, este apresenta absorção de radiação UV na faixa de 240-320 nm.

Figura 5: Principal grupo cromóforo de absorção de UV no PET.



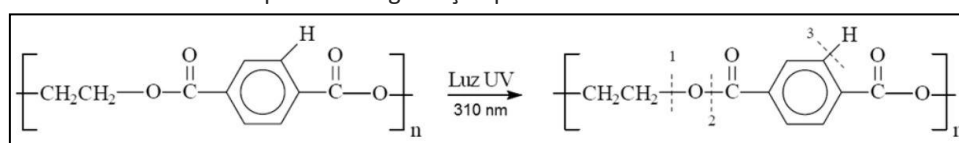
Fonte: Ilišković e Bravar (1986); Vichessi e Ruvolo Filho (2008).

Diversos estudos foram realizados com o intuito de verificar a influência da fotodegradação em materiais poliméricos, como exemplo cita-se Batista (2004) com a síntese de poliésteres e caracterização de revestimentos (vernizes) poliéster/melamina após degradação em intemperismo acelerado, nesse estudo utilizou-se uma câmara para simular as condições ambientais de degradação. Jara (2007) trabalhou com a produção de biofilmes e enzimas sintetizados no processo de degradação do tereftalato de polietileno (PET) por *Bacillus subtilis* e *Phanerochaete chrysosporium*, utilizou como pré-tratamentos, duas fases de irradiação ultravioleta, 6 horas e 32 horas. Ainda, Brandalise (2008), em seu estudo avaliou a degradação biótica e abiótica da mistura polimérica de polietileno de alta densidade com o poli (álcool vinílico), no qual utilizou-se uma câmara de irradiação UV para promover a degradação dos compósitos, por

períodos de 240 e 480 horas, esse último período de exposição correlaciona-se com um período de 9 meses de condições normais de intemperismo.

A exposição do PET à luz ultravioleta (UV) promove degradação da superfície exposta, por meio da qual ocorre a absorção de luz de energia que corresponde a uma transição eletrônica ou uma transferência de energia de um sensibilizador em seu estado excitado (PAOLI, 2008), fato que ocasiona a cisão da cadeia e a consequente formação de radicais livres próximos ao anel benzênico e na presença de oxigênio, resulta na formação de hidroxila, conforme verifica-se na Figura 6 (BORRELLY, 2002, DEL MONEGO, *et al.*, 2011).

Figura 6: Prováveis locais das cisões entre as ligações da estrutura do PET acometidos pela fotodegradação por luz ultravioleta.



Fonte: Lewin e Pearce (2007); Del Monego, *et al.* (2011).

Na fotodegradação do PET duas reações a fotólise e a foto-oxidação podem acontecer concomitantemente, essas reações envolvem a cisão de cadeia, fato que resulta na formação de produtos gasosos como CO, CO<sub>2</sub> e grupos terminais carboxílicos (VICHESSI e RUVOLO FILHO, 2008). Outra proposição é a formação de grupos carboxiterminais em que ocorrem a liberação de monóxido de carbono, e também o processo de reticulação inter/intramolecular das cadeias (PAOLI, 2008).

A perda de elasticidade, resistência ao impacto e integridade mecânica de plásticos expostos a radiação UV são processos conhecidos. Essas alterações nas propriedades mecânicas podem refletir no polímero em virtude das cisões de cadeia, ou reticulações como as ligações cruzadas, como um resultado de fotodegradação (ANDRADY, *et al.*, 1998). Considera-se ainda que, em relação às propriedades de tração, alongamento e viscosidades específica, estas diminuem conforme a quantidade de grupos terminais carboxílicos é aumentada (VICHESSI e RUVOLO FILHO, 2008).

Por meio dos processos degradativos físico-químicos que acometem as embalagens dos polímeros de modo geral e em especial o PET é possível sugerir que ocorra uma facilitação para processos biológicos de degradação, fato que torna estudos de biodegradabilidade de materiais poliméricos de grande importância para buscar novas alternativas para os problemas relacionados aos resíduos sólidos dispostos inadequadamente no ambiente.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A preservação do meio ambiente é uma das grandes e recorrentes preocupações da humanidade, na qual torna-se necessário buscar melhorias para a qualidade de vida e por diversas formas tentar proteger o patrimônio produzido pela natureza.

A questão dos materiais poliméricos e do meio ambiente perpassa por considerações que demandam uma ampla discussão sobre sua origem e o seu desenvolvimento histórico, cultural, social e econômico. Materiais poliméricos podem demorar séculos para se decompor no ambiente, por processos naturais, enquanto isso, geram passivos e impactos ambientais como a proliferação de vetores de doenças, poluição de solos e águas, perda da biodiversidade local, regional pela ingestão deste material, entre outros problemas, que precisam ser solucionados.

O politereftalato de etileno (PET), constituinte das garrafas de bebidas carbonatadas é alvo de estudos em virtude da ampla quantidade encontrada disposta incorretamente no ambiente, este material, bem como outros materiais poliméricos expostos ao ambiente sofre degradação, que está associada ao seu desgaste físico e perda de propriedades importantes em virtude de processos químicos de degradação como os provenientes da luz ultravioleta. Enfatiza-se que esse é um ponto de início para futuras pesquisas aplicadas que perpassam pela exposição acelerada desde material e podem ser combinadas com processos biológicos de degradação, que são realizados por fungos e bactérias do ambiente.

Como abordado neste texto é possível perceber que o caminho percorrido entre os conhecimentos sobre as questões de qualidade ambiental, relacionadas ao meio ambiente, bem como, a nossa existência, que contempla um processo de desenvolvimento associado a produção e consumo, uso de recursos naturais e acúmulo de resíduos no ambiente, torna-se indispensáveis as discussões sobre a solução dos problemas criados, para que obtenha um determinado equilíbrio, e possamos ter maior qualidade de vida aliada a preservação do ambiente.

Esta pesquisa pode ser considerada pontual ao abordar especificamente o PET, no entanto, torna-se abrangente ao relacionar-se com outras questões, como as questões ambientais que permeiam as relações de sustentabilidade e equilíbrio ambiental aliadas a qualidade essencial a vida.

# Considerations with emphasis on Polyethylene Terephthalate (PET) and degradation processes

## ABSTRACT

This article focuses on discussing and addressing the environmental issue related to the question of polymeric materials and their impact on the environment and how to build consideration of the degradation processes that affect them. It is considered that for the environmental management of existing resources is of paramount importance to discussion of the topic presented, which serves as a basis for future decisions and research to assist in the solution of the issues. The main conclusion is that environmental issues the solution to the experienced problems permeate for important discussions about the origin and given development provide existing subsidies for applied research towards new technologies and technologies that are efficient in solving environmental problems.

**KEYWORDS:** Environmental Technologies; Polymeric materials; Environment.

## REFERÊNCIAS

ABIPLAST, Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **Perfil 2012**. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/site/estatisticas>>. Acesso em: 20 ago 2013.

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012**. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_apresentacao.cfm](http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm)>. Acesso em: 20 ago 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. ANVISA. Resolução nº 105. Mai.1999. **Regulamento Técnico Disposições Gerais para Embalagens e Equipamentos Plásticos em contato com Alimentos**. Brasil, 1990.

\_\_\_\_\_. ANVISA. **Detecção e Identificação dos Fungos de Importância Médica**. Módulo VII. 2004. Brasil, 2004.

\_\_\_\_\_. ANVISA. Resolução nº 17. Jan.2008. **Dispõe sobre Regulamento Técnico sobre Lista Positiva de Aditivos para materiais Plásticos destinados à Elaboração de Embalagens e Equipamentos em Contato com Alimentos**. Brasil, 2008.

\_\_\_\_\_. ANVISA. Resolução nº 20. Mar.2008. **Regulamento Técnico sobre embalagens de polietileno tereftalato (PET) pós-consumo reciclado grau alimentício (PET-PCR grau alimentício) destinados a entrar em contato com alimentos**. Brasil, 2008.

\_\_\_\_\_. ANVISA. Resolução nº 51. Nov.2010. **Dispõe sobre migração em materiais, embalagens e equipamentos plásticos destinados a entrar em contato com alimentos**. Brasil, 2010.

\_\_\_\_\_. ANVISA. Resolução nº 56. Nov.2012. **Dispõe sobre a lista positiva de monômeros, outras substâncias iniciadoras e polímeros autorizados para a elaboração de embalagens e equipamentos plásticos em contato com alimentos**. Brasil, 2012.

AKCELRUD, Leni. **Fundamentos da Ciência dos Polímeros**. Barueri/SP: Manole, 2007.

ALMEIDA, Igor Santos *et al.* **Reciclagem de garrafas PET para fabricação de telhas**. Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT, [S.I.], v. 1, n. 3, p. 83-90, out. 2013.



ALVES, Márcia Aurelina de Oliveira. ***Efeito da adição de absorvedor de UV sobre a qualidade de óleo de soja embalado em polietileno tereftalato (PET)***. 2004. Dissertação Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos - Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC, Florianópolis, 2004.

ANDRADY, A.L.; HAMID, S.H.; HU, X.; TORIKAI, A. ***Effects of increased solar ultraviolet radiation on materials***. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 46, 96–103. 1998.

BORRELLY, Daniel Fernandes. ***Estudo comparativo da degradação de poliestireno e de poliestireno de alto impacto por envelhecimentos natural e artificial***. 2002. Dissertação Mestrado em Engenharia Química - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

BRANDALISE, Rosmary Nichele. ***Avaliação da degradação biótica e abiótica da mistura polimérica de polietileno de alta densidade com o poli(álcool vinílico)***. 2008. 166f. Tese Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

CANEVAROLO Jr., Sebastião V. ***Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros***. 2 ed. São Paulo: Artliber Editora, 2006.

CENTENARO, Vivian Domingues Alves; SPOLADORE Angelo. ***Problemas culturais relacionados à deposição dos resíduos sólidos urbanos no município de Astorga, PR***. *Geografia*. Londrina. v 13. n 1. Jan./Jun. 2004.

COELHO, Alberta Augusta Santos. ***Desenvolvimento morfológico sob deformação de nanocompósitos de PET e nanotubos de carbono***. 2013, 141fl. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Polímeros). Universidade do Minho. Braga, Portugal.

COLTRO, Leda; BURATIN, Ana Elisa P. ***Garrafas de PET para Óleo Comestível - Avaliação da Barreira à Luz***. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 14, n. 3, p. 206-211, 2004.

DAMBRÓS, Poliana; CAPPELARI, Karoline Pignat; POFFO, Caroline; WISBECK Elisabeth. ***Avaliação da biodegradação de polímeros por Pleurotus djamor***. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*. n 31, Mar. 2014.

DEL MONEGO, Andressa. FLORES, Éder L. de M. EYNG, Eduardo; FRARE, Laercio M; BITTENCOURT, Paulo R. S. ***Modificação das propriedades físico-químicas do politereftalato de etileno em garrafas de refrigerante expostos à radiação***

**ultravioleta.** In: **11º Congresso de Polímeros CBPol.** Out. 2011. Campos do Jordão/SP, 2011.

DIAS, Marcos L.; PACHECO, Elen B.A.V.; NASCIMENTO, Christine R.; SILVA, Suédina Ramos; FERNANDES, Maria J.A. **Uso de aditivos para melhoria das propriedades físicas de PET.** 2004.

ENEDINO, Thays Rodrigues; PERAZZO, Ana R. Fernandes; LIMA, Micheline Azevedo; MELO, Évio E. Chaves. **A problemática dos resíduos sólidos. Extensão e Sociedade.** v. 5, n. 3. 2011.

FORMIGONI, Alexandre, CAMPOS, Ivan Pérsio de Arruda. **Reciclagem de PET no Brasil. Universidade Estadual Paulista – UNESP.** Disponível em: <[http://www.aedb.br/seget/artigos07/1200\\_1200\\_ARTIGO%20RECICLAGEM%20DE%20PET%20NO%20BRASIL.pdf](http://www.aedb.br/seget/artigos07/1200_1200_ARTIGO%20RECICLAGEM%20DE%20PET%20NO%20BRASIL.pdf)>. Acesso em: 20 mai 2014.

GUERRA, Antonio Jose; CUNHA, Sandra Baptista da Cunha. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 11 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

ILIŠKOVIĆ, N.; BRAVAR, M. **Correlation of Physico-chemical, Mechanical and Electrical Properties of Ultraviolet-degraded Poly (Ethylene Terephthalate).** Polymer Degradation and Stability 15. 15 p.173; 1986.

JARA, Alícia Maria Andrade Torres. **Biofilmes e enzimas sintetizados no processo de degradação do tereftalato de polietileno por bacillus subtilis e phanerochaete chrysosporium.** 2007, 88 f. Dissertação Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais - Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2007.

LINO, Hélio Francisco Corrêa. **A Indústria de Reciclagem e a Questão Ambiental.** 2011. 291 f. Tese Programa de Pós-Graduação em História - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

M&G. **Manual Técnico Resina PET.** M&G Polímeros Brasil S.A. 2009. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/152950399/Manual-Tecnico-Resina-Pet-3#scribd>>. Acesso em: 20 dez 2013.

MANCINI Sandro D.; BEZERRA, Maxwell N.; ZANIN, Maria. **Reciclagem de PET Advindo de Garrafas de Refrigerante Pós-Consumo. Polímeros: Ciência e Tecnologia.** Abr/Jun. 1998.

MANO, Eloisa Biasotto; PACHECO, Élen B. A. V.; BONELLI, Cláudia M. C. **Meio Ambiente, Poluição e Reciclagem.** São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

MARCONCINI, José M.; RUVOLO FILHO, Adhemar. **Análise termodinâmica do comportamento mecânico na região elástica de blendas de poli (tereftalato de etileno) reciclado e poliolefinas recicladas**. Polímeros, São Carlos , v. 16, n. 4, Dec. 2006.

MEDEIROS, Alexandre José Gomes. **Atuação do biólogo da coordenadoria do meio ambiente de campina grande no gerenciamento de resíduos sólidos em segmento do Riacho das Piabas – Campina Grande**. 61 f. Monografia de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas). Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande. 2011.

MELO, José Wellington de. **Produção e caracterização de pó de PET – Poli (Tereftalato de etileno), obtido a partir de garrafas pós-consumo**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Materiais). 2004. 122 fl. Rede Temática em Engenharia de Materiais UFOP, CETEC, UEMG. Belo Horizonte, 2004.

MILLER, G. Tyler. **Ciência Ambiental. 11 ed.** Tradução: All Tasks. Revisão técnica: Wellington Brás de Carvalho Delitti. São Paulo, SP: Thompson Learning, 2007.

MOURA, Márcio Cleto Soares de. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos Poli (tereftalato de etileno) reciclado (PET reciclado) com flocos de vidro**. 2011. 140f. Tese Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

MUCELIN, Carlos Alberto; BELLINI, Marta. **Lixo e Impactos Ambientais Perceptíveis no Ecosistema Urbano**. Rev. Sociedade & Natureza. Nº 01, Vol. 20, 2008.

NASSER, Ana Lúcia Martiniano; LOPES, Lucia Maria Xavier; MONTEIRO, Magali. **Oligômeros em embalagem de PET para água mineral e suco de fruta**. Uma revisão. Alim. Nutr. v. 16, n. 2, abr./jun. 2005,183-194 p. Araraquara/SP.

OJEDA, Telmo Francisco Manfron. **Biodegradabilidade de materiais poliméricos**. 2008. 128 f. Tese Doutorado em Ciência do Solo - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2008.

OLIVEIRA, Anie Karina da Rosa. **Modificação superficial do PET (poli tereftalato de etileno) para beneficiamento na reciclagem**. 2011. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

OLIVEIRA, Marcell Accioly Teixeira de; HERRMANN, Maria Lúcia de Paula. **Ocupação do solo e riscos ambientais na área conturbada de Florianópolis**. (p. 146 á 188). In: Impactos Ambientais Urbanos no Brasil. 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

PAOLI, Marco-Aurélio De. **Degradação e estabilização de polímeros**. 2ª ed. 2008.

PEREIRA, Suellen Silva. **A problemática dos resíduos sólidos urbanos e os instrumentos de gestão do meio ambiente na cidade de Campina Grande/PB**. In: Âmbito Jurídico, Rio Grande, XIV, n. 93, out 2011.

PHILIPPI JR, Arlindo; PELICIONI, Maria Cecilia Focesi (Orgs.) **Educação ambiental e sustentabilidade**. São Paulo: Manole, 2009.

PIATTI, Tânia Maria; RODRIGUES, Reinaldo Augusto Ferreira. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais**. Série: Conversando sobre Ciências em Alagoas. Maceió: EDUFAL, 2005.

PNRS, **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. 2012. Disponível em:< [http://www.mma.gov.br/estruturas/253/\\_publicacao/253\\_publicacao02022012041757.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf)>. Acesso em: 20 ago 2013.

RAMIREZ, Aurelio; NAVARRO, Leticia Guadalupe; CONDE ACEVEDO, Jorge. **Degradación química del poli (etilen tereftalato)**. Rev.Colomb.Quim., Bogotá , v. 39, n. 3, Dec. 2010.

RODRIGUES, Leonardo Pereira Sarmento. **Efeitos do envelhecimento ambiental acelerado em compósitos poliméricos**. 2007, 127 f. Dissertação Pós-Graduação em Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2007.

ROMÃO, Wanderson. **Metodologia para detectar a presença do PET reciclado em embalagens PET para alimentos**. Dissertação Pós-Graduação em Química na área de Físico-Química - Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP. 2009.

ROMÃO, Wanderson; SPINACÉ Márcia A. S.; PAOLI, Marco A. De. Poli (Tereftalato de Etileno), **PET: Uma Revisão Sobre os Processos de Síntese, Mecanismos de Degradação e sua Reciclagem**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 19, n. 2, p. 121-132, 2009.

SANTOS, Bruno Carvalho Marques dos. **Análise do ciclo de vida da embalagem de polietileno tereftalato**. In: VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 2011.

SANTOS, Paulo A.; OLIVEIRA, Marina N.; PAOLI Marco A. De; FREITAS, Vanessa G.; ROSA, Derval S. **Avaliação do Efeito Pró-Oxidante no PP, em Blendas com PHB.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol.23, n.3, p.432-439, 2013.

SILVA, André Luis Bonfim Bathista e; SILVA, Emerson Oliveira da. **Conhecendo materiais poliméricos.** Universidade Federal de Mato Grosso. Instituto de ciências Exatas e da Terra. Departamento de Física. 2003. 86 f.

SILVA, Kethlen Rose Inácio da. **Biodegradação de Polietileno Tereftalato (PET) por fungos ligninolíticos.** 2009, 193 f. Dissertação Ciência de Alimentos - Faculdade de Engenharia de Alimentos - Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP. Brasil, 2009.

SPINACÉ, Márcia Aparecida da Silva; PAOLI e Marco Aurelio De. **A tecnologia da reciclagem de polímeros.** Química Nova, Vol. 28, No. 1, 65-72, 2005.

TAKAHASHI, Yoshio, SAKUMA, K, ITAI, T, ZHENG, G, MITSUNOBU, S. **Speciation of antimony in PET bottles produced in Japan and China by X-ray absorption fine structure spectroscopy.** Environ Sci Technol. 2008. Dec 15;42(24):9045-50.

VALT, Renata Bachmann Guimarães. **Ciclo de vida de embalagens para bebidas no Brasil.** Brasília: Thesaurus, 2007.

VICHESSI, Raquel B.; RUVOLO FILHO, Adhemar C. **Estudo do efeito do envelhecimento sob radiação UV no transporte de água em filmes de PET reciclados de bebidas carbonatadas.** Polímeros [online]. 2008, vol.18, n.4, pp. 326-333. ISSN 0104-1428.

**Recebido:** 21 jan. 2016.

**Aprovado:** 04 out. 2016.

**DOI:**

**Como citar:** KOSCHEVIC, M. T.; BITTENCOURT, P. R. S. Meio Ambiente e materiais poliméricos: Breves considerações com ênfase ao Politereftalato de Etileno (PET) e processos de degradação. R. Eletr. Cient. Inov. Tecnol., Medianeira, v. 2, n. 14, p. 60-80, jul./dez. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/recit>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Marivane Turim Koschevic

Rua Helmuth Henicka, 206, Centro, CEP 85877-000, São Miguel do Iguazu, Paraná, Brasil.

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

