

Reciclagem de PET no Brasil

Alexandre Formigoni

Ivan Pécio de Arruda Campos
Universidade Estadual Paulista - UNESP

RESUMO

O crescimento da população e o estímulo ao consumo de produtos industrializados descartáveis têm aumentado a quantidade e a diversidade dos resíduos urbanos. A simples disposição dos resíduos industriais, comerciais e domésticos urbanos em aterros sanitários fez com que eles estejam em vias de saturação. A utilização desses resíduos como matéria-prima tem sido adotada como solução para o problema, mas como é uma atividade recente, ainda não é aceita como melhor alternativa. Na presente dissertação são analisados criticamente os problemas relacionados ao processo de reciclagem de PET, com vistas, especialmente, ao processo de reciclagem “bottle-to-bottle”, para uso alimentício. Os aspectos de perda e recuperação das propriedades do material, de contaminação química e biológica são discutidos, bem como o sempre relevante problema da legislação, que parece ser o mais sério neste caso. Atualmente o mercado no Brasil, consegue reciclar cerca de 50% da produção do PET, o que significa que há potencial para grande melhoria nesse aspecto.

Palavras-chave: Reciclagem; impacto ambiental; PET.

1. INTRODUÇÃO E REVISÃO DA LITERATURA

O PET – poli (etileno tereftalato) ou poli (tereftalato de etileno) – representado na figura 1, é um polímero desenvolvido em 1941 pelos químicos ingleses Winfield e Dickson (BELLIS, 2005). Este polímero, obtido com alto peso molecular foi reconhecido na época como tendo potencial para aplicações como fibra e, somente na década de 60, com o filme de PET biorientado, passou a ter grande aceitação para acondicionamento de alimentos. Em 1973, o processo de injeção e sopro com biorientação, desenvolvido pela Du Pont, introduziu o PET na aplicação como garrafa, o que revolucionou o mercado de embalagens, principalmente o de bebidas carbonatadas. Ele chegou ao Brasil apenas em 1989.

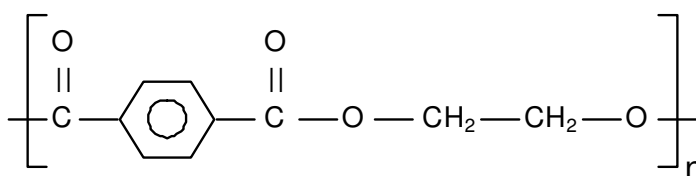


Figura 1 – Estrutura química do PET (Fonte: MANO E MENDES, 1999)

Tendo como concorrentes diretas as garrafas de vidro, não houve resistência para que a indústria de refrigerantes trocasse suas embalagens para o PET, pois suas características como material transformaram-se nas vantagens relacionadas abaixo:

- Excelente estabilidade dimensional;

- Fácil conformação, versatilidade de design e cores;
- Fácil processamento, levando a alta produtividade e rendimento;
- Custos competitivos;
- Alta resistência ao impacto, segurança no manuseio e eliminação de perda no transporte;
- Alta resistência a pressão interna;
- Peso reduzido, levando a redução no preço do frete;
- Totalmente reciclável (100%).

Na figura abaixo, podem ser observados os dados sobre a produção, reciclagem e percentagem de reciclados de PET no Brasil nos últimos anos.

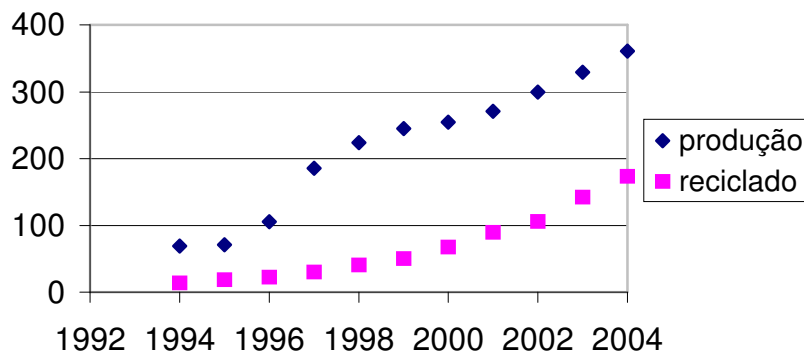


Figura 2: Produção x Reciclado (Fonte: CEMPRE e RECIPE, 2005)

Conforme apresentado, percentualmente a quantidade reciclada teve um aumento importante, saltando de 18% para 48%, porém o salto de produção foi enorme, de 80kt para 360kt, o que aumenta muito a quantidade não reciclada, causando problemas ambientais.

Segundo Leite (2003), quanto maior o nível sócio-econômico e conseqüente poder aquisitivo do cidadão, maior o uso de descartáveis e quantidade de polímeros no lixo. A tecnologia proporciona a utilização de polímeros para uma melhora na qualidade de vida, mas que também resulta em grande problema com a quantidade de resíduos gerados.

Leite (2003) ainda cita que um dos piores problemas originados no descarte de materiais plásticos no Brasil é o espaço que ocupam nos aterros sanitários. Embora representem algo em torno de 10% do peso total do lixo, ocupam até 20% de seu volume, contribuindo também para o aumento dos custos de coleta, transporte e descarte final dos resíduos urbanos. Outro problema sério a ser levado em consideração é de o plástico (em geral) de difícil decomposição.

Apesar da quantidade de PET reciclado apresentar crescimento, este ainda é inferior ao alumínio (85% de reciclagem) e do vidro (56% de reciclagem), segundo o CEMPRE (2005). Alguns itens devem ser levados em consideração como a dificuldade de transporte do PET efetuado pelo catador, pois precisa de grandes espaços para transportar uma massa pequena; o desconhecimento de que o PET é o segundo material que melhor remunera o catador, depois do alumínio, devem ser difundidos entre catadores e cooperativas de coleta seletiva, de maneira a ser desenvolvido uma coleta para todos os tipos de materiais e não privilegiar apenas alguns, fazendo com que eles voltem à cadeia de valor.

O desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas à reciclagem de plástico, tem como objetivo produzir um material para substituir o plástico virgem, diminuindo a exploração de recursos minerais e os impactos ambientais causados pela própria exploração e pelo descarte inapropriado do lixo.

1.1. COLETA E SEPARAÇÃO

O maior problema da reciclagem de PET é a oferta de material; apesar do crescimento dos últimos anos, ela ainda é tímida e está aquém das necessidades. A falta de fornecimento contínuo e homogêneo de matéria-prima é o reflexo da quase inexistência de uma política de coleta seletiva pelos municípios. Soma-se a isto a falta de consciência da população sobre a necessidade de reciclar o lixo.

A ABNT, através da NBR 13.230 (1994), estabelece símbolos para a identificação dos termoplásticos utilizados na utilização de embalagens e recipientes, tarefa fundamental para a viabilização econômica e industrial da reciclagem. Esses símbolos padronizados, normalmente são aplicados em alto relevo na parte inferior da embalagem.

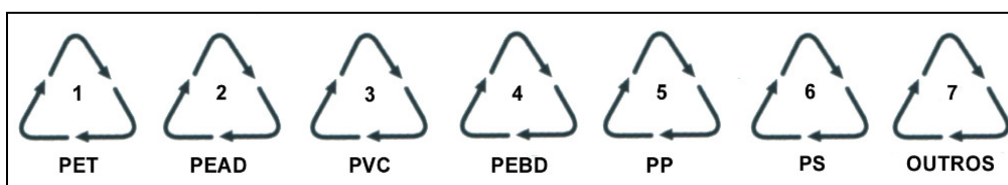


Figura 3 – Simbologia para plásticos, NBR 13230 (Fonte: ABNT, 1994)

Esses símbolos apenas indicam que os materiais são potencialmente recicláveis. O sistema de codificação adotado alerta para o fato de que a presença do símbolo não é uma garantia enunciada ou implícita de que qualquer recipiente é próprio para ser transformado em outro produto. Ainda que seja tecnicamente reciclável nenhum material deve ser considerado realmente reciclável se não houver mercado para ele.

A maior parte do PET oferecido para reciclagem provém de catadores, que fazem um trabalho de varredura pelas ruas e lixões e de algumas organizações não governamentais que se estruturaram. Estes separam as garrafas por cor, retirando o rótulo e a tampa e enfardando para vendê-los a recicladores. Porém, a grande maioria dos catadores nunca foi treinada e seus conhecimentos sobre o assunto são adquiridos na prática. Somando-se em a isso a ausência do código de identificação em grande número de peças, aumenta significativamente a dificuldade para a separação dos diferentes tipos de plásticos (RECIPET, 2005).

1.2. RECICLAGEM

Em uma economia globalizada, na qual o ambiente competitivo é cada vez mais acirrado, as empresas necessitam de vantagens diferenciadas para permanecerem no mercado. Assim, o mercado passou a ser mais exigente e privilegiando a escolha de produtos de companhias que utilizem tecnologias de produção e métodos de gerenciamento que preservem o meio ambiente. A entrada em vigor do conjunto de normas ambientais, ISO 14000 (International Standardization Organization), veio se fortalecer ainda mais essa preocupação com o meio ambiente. Deve-se ressaltar que há também todo o aspecto financeiro, pois, em um futuro breve, a falta de preocupação com o aspecto ambiental pode vir a trazer enormes prejuízos às companhias, seja financeiro ou de marketing negativo.

A reciclagem é considerada uma das alternativas mais importantes dentro do conceito de desenvolvimento sustentável definido pela ONU (Organização das Nações Unidas), o processo deve ser utilizado em dois casos:

Quando a recuperação dos resíduos for técnica e economicamente viável, bem como higienicamente utilizável;

Quando as características de cada material sejam respeitadas.

A reciclagem é o resultado final de atividades intermediárias de coleta, separação e processamento, através da qual materiais pós-consumidos são usados como matéria-prima na manufatura de bens, antes produzidos com matéria-prima virgem. O sucesso da reciclagem está diretamente ligado ao fornecimento de matéria-prima, tecnologia de reciclagem e mercado diferenciado.

No caso específico do PET, existem três tipos de reciclagem: energética, química e mecânica. (ROLIM, 2001).

2. CONTAMINAÇÃO QUÍMICA

O problema da contaminação química em polímeros recicláveis pode ser dividido em dois aspectos:

- O da contaminação por materiais devidos à decomposição do polímero com o tempo e o uso (portanto referente à presença de monômeros, pequenos oligômeros, plastificantes e aditivos) e,

- O da contaminação por migração, para o recipiente, de componentes de seu conteúdo (seja ele o previsto, por exemplo, componentes de refrigerante, seja o imprevisto, devido a seu emprego para armazenar materiais diferentes daqueles para os quais foi inicialmente destinado como solventes em garrafas de refrigerantes).

Cabe aqui definir o conceito geral de migração, processo pelo qual um material sólido (usualmente vítreo, caso dos polímeros em geral) extrai componentes de uma mistura e os retém em sua estrutura. Ela pode ocorrer nos dois sentidos: se a concentração de uma dada substância for maior no líquido contido em um frasco de polímero, essa substância pode migrar para dentro do polímero; se, num outro momento, tivermos um conteúdo que não possua a substância que antes migrou para o polímero, ela pode agora migrar do polímero para esse conteúdo. Em particular, substâncias presentes no polímero desde sua manufatura (como, por exemplo, monômeros, plastificantes e outros aditivos) podem também migrar do polímero para o conteúdo na primeira utilização do frasco. Isto, é claro, se torna menos provável nas reutilizações. Por outro lado, com o tempo e o uso, o material polimérico pode se decompor gerando contaminantes de baixa massa molar, capazes de migrar para fora do polímero.

Naturalmente, para que polímeros de PCR (reciclado de pós-consumo) possam ser adequados para a reutilização como embalagens de alimentos é fundamental que eles não causem a contaminação de seu conteúdo, ou que a causem em níveis iguais ou menores do que os porventura causados pelo polímero virgem do mesmo tipo, se este é um material aprovado para aplicações em alimentos.

Do ponto de vista de viabilidade da reciclagem desses polímeros, o importante é o desenvolvimento de métodos de descontaminação que possam eliminar a contaminação causada por qualquer tipo de conteúdo que tenha passado pela embalagem durante seu período de reuso pré-reciclagem. Esse procedimento independe da eventual mistura que o consumidor faça entre as embalagens plásticas, reutilizadas ou não. Provavelmente devido às dificuldades inerentes ao desenvolvimento de processos eficazes e críveis de descontaminação, a reciclagem de plásticos visando à reutilização em aplicações alimentícias era proibida mundialmente até a década de 90 (SANTOS et al.,2004). Hoje, essa atividade tornou-se um dos principais desafios do setor de reciclagem de plásticos, representando todo um segmento de mercado a ser explorado.

Nos EUA, por exemplo, o setor de embalagens responde, sozinho, por cerca de 30% em massa do consumo total de plásticos produzidos (LEITE, 2003). Embora as poliolefinas sejam o plástico dominante neste setor respondendo por, aproximadamente, 75% do consumo de plástico dessa fatia de mercado, as embalagens de PET constituem o centro da atenção dos

recicladores, embora representem apenas cerca de 3% do total de mercado de plásticos, ou seja, 10% do mercado de plásticos destinados ao setor de embalagens (LEITE, 2003). Entre os fatores que cooperam para este quadro estão: o custo relativamente alto da resina virgem, a alta competitividade de seus processos de reciclagem mecânica e o alto valor agregado do reciclado, cujo desempenho, dependendo da tecnologia aplicada, pode ser similar ao da resina virgem. Além disso, seu mercado é altamente especializado, sendo destinado basicamente ao setor de bebidas carbonatadas. Tendências em ampliá-lo para outros nichos existem, como, por exemplo, para os mercados de embalagens de óleo comestível, água mineral, sucos, molhos, aguardentes, detergentes, condimentos, cosméticos e produtos químicos, além de perspectivas de que o PET venha a abranger, inclusive, o mercado de embalagens para cerveja. Um maior valor agregado ao reciclado pode ser alcançado pelo emprego de uma etapa adicional de separação das embalagens em incolores e pigmentadas.

Hoje, são usados muitos processos de reciclagem de limpeza profunda, também chamados de super-limpeza (FRITSCH & WELLE, 2002). Estes processos envolvem muitas etapas de limpeza (tratamento a vácuo, tratamento com altas temperaturas, limpeza profunda da superfície exposta, etc.) para a eliminação de substâncias indesejáveis, eventualmente advindas do pós-consumo do PET PCR. A eficiência da limpeza decorrente dos processos de reciclagem é avaliada por meio das ASD (FDA, 1992; 1995 ILSI, 1998, BGVV, 2000), sendo suficiente, caso aprovada, para a aplicação desses materiais em embalagens com contato direto com alimentos. O processo de descontaminação do PET PCR aplica uma variedade de etapas de processos. As três principais etapas para devolver PET PCR apropriado para aplicação de embalagens com contato com alimentos incluem repolimerização química, multi-lavagem e super-limpeza do material para fazê-lo utilizável para aplicações de contato com alimento (BAYER, 1997). Nesses processos incluem-se a aplicação de alta temperatura, vácuo, fluidos escolhidos criteriosamente, solventes e tratamento químico superficial.

O estabelecimento de normas de avaliação de qualidade é importante no que se refere a PCRs porque o consumidor pode ter reutilizado a embalagem de inúmeras formas. Nesse contexto, a primeira instituição a contemplar a segurança do uso de PCRs para aplicações em embalagens com contato alimentício foi a norte-americana FDA, que desenvolveu uma metodologia para testes dos materiais reciclados obtidos de processos comerciais e destinados a aplicações em que haja contato com alimentos, os chamados "Challenge Tests" [ASD: diretrizes (US FDA 1992; 1995)]. Trata-se neles da determinação padronizada das concentrações de contaminantes, com o estabelecimento de valores mínimos aceitáveis de exposição. Em 1995, uma comissão européia (Scientific Committee on Foods, SCF) criou uma relação de compostos químicos não-carcinogênicos cuja presença em alimentos, até os valores de concentração lá indicados, não apresentaria efeitos adversos à saúde dos seres humanos. Em 1997, utilizando a relação da SCF, um comitê de especialistas da Organização Mundial de Saúde formulou um procedimento internacional, análogo ao da FDA, para a avaliação da segurança de polímeros PCR (Joint Expert Committee on Food Additives: JECFA, 1997).

A aceitação desses procedimentos pelas várias agências governamentais, ou por organizações internacionais, tem sido relativamente lenta. Uma revisão da FDA compilou uma lista de 12 diferentes processos, para os quais foram emitidas cartas de não objeção da FDA (FDA, 2002; FRANZ et al., 1998; FRANZ & WELLE, 1999b). Hoje, a US FDA tem 40 cartas de não objeção acumuladas, referentes a diferentes tipos de processo e de uso de PCR's para aplicações de contato com alimento (BAYER, 2002).

Diversos trabalhos estudam a identificação e quantificação de contaminantes em amostras de reciclagem de PET convencional (PIERCE et al., 1994; SADLER, 1995; FRANZ & WELLE, 1999a; BAYER, 2002). Esses estudos foram efetuados em amostras

relativamente pequenas, provindas da análise do fluxo natural do PET PCR e da possível concentração de substâncias indesejáveis.

De fato, embora exista correlação entre a contaminação em níveis de concentração muito acima do admissível e a utilização de garrafas PET para o armazenamento doméstico de vários produtos (solventes, combustíveis, pesticidas, etc), acredita-se ser esse mau uso das embalagens de PET um evento relativamente raro (FERON et al, 1994), levando a níveis de contaminação perfeitamente compatíveis com a sua eliminação por processos super-limpeza, desde que se considere como sendo desprezível a reutilização de embalagens para conter agrotóxicos, o que parece ser o caso (PIERCE et al., 1994; SADLER, 1995; FRANZ & WELLE, 1999a; BAYER, 2002).

Esse raciocínio fundamenta-se na expectativa de que o complexo de embalagens provenientes do mau uso tenha, no universo do material recolhido para reciclagem, uma presença significativamente menor do que as embalagens provindas diretamente do setor alimentício ou de setores que não levem a contato com produtos perigosos à saúde humana. Nesse sentido, foram efetuados estudos (FRANZ & WELLE, 2002) para se determinar a composição de três tipos de PCR de polietileno tereftalato (PET) com o objetivo de se apurar a presença de contaminação química nas embalagens provenientes dos setores alimentícios e não alimentícios. A contaminação típica desse material é freqüentemente ocasionada pela mistura de embalagens alimentícias com outras contaminadas por produtos perigosos, devido às varias maneiras de recolhimento das embalagens descartadas de PET.

Assim, entre 1997 e 2001, Franz e Welle recolheram amostras das mais diferentes origens de 12 países europeus e as submetem a uma lavagem comercial, a uma super-limpeza (super clean process) e processaram-nas em pellets. A caracterização dos contaminantes presentes nessas amostras foi feita por cromatografia a gás ou a líquido (CLAE), acopladas à espectrometria de massas, tendo-se determinado também as concentrações dos contaminantes presentes, tais como solventes e ácidos (devidos ao emprego das embalagens para o armazenamento de materiais impróprios), bem como ácido tereftálico, etileno-glicol, acetaldeído e limoneno, originados ou das próprias embalagens ou de refrigerantes nelas contidos.

Em 1998, Franz et al. apresentaram seu processo de super-limpeza, que posteriormente recebeu uma carta de não objeção emitida pela FDA.

Vale ressaltar que, para aumentar a credibilidade dos processos analisados, outras amostras foram contaminadas deliberadamente com tolueno, clorobenzeno, fenilciclohexano, esterearato de metila e bezofenona e submetidos ao mesmo processo de super-limpeza, resultando, também essas amostras, em PET aceitável para uso alimentício novamente.

A maior parte dos processos de super-limpeza já aprovados pela FDA envolvem o uso de altíssimo vácuo industrial e/ou de soluções alcalinas, usualmente de hidróxido de sódio, por várias horas. Isso remove os contaminantes, mas é caro e desperdiça energia.

No Brasil, foi recentemente desenvolvido um processo alternativo, igualmente eficiente, pelo grupo de pesquisa liderado por Sati Manrich, da UFSCar. Segundo Manrich, o novo processo necessita apenas de um fluxo de ar seco quente (130 a 220 °C), por cerca de 15 minutos (ERENO, 2005).

3. CONTAMINAÇÃO BIOLÓGICA

Louis Pasteur, no século XIX, observou que existe correlação entre a deterioração de alimentos e a presença de microorganismos. Descobriu também que o aquecimento controlado, hoje chamado pasteurização (aquecimento a 62°C por 30 minutos, seguido por um resfriamento rápido), poderia ser utilizado para a matar os micróbios que causavam a

decomposição de certos alimentos, sem alterar suas propriedades organolépticas (sabor, cheiro, cor). A pasteurização, entretanto, não torna o meio estéril. Pasteur também cunhou os termos aeróbio e anaeróbio, para designar aqueles microorganismos que vivem exclusivamente na presença e na ausência de oxigênio, respectivamente.

Uma série de experimentos adicionais levaram o cientista francês a concluir que:

- A seco, a exposição por, pelo menos, 120 minutos à temperatura de 170°C torna o meio estéril;

- Em atmosfera saturada de vapor d'água (umidade relativa 100%), sob pressão de 2 atmosferas (ou seja, 1 atm acima da pressão atmosférica ao nível do mar), 30 minutos a temperaturas da ordem de 121 °C bastariam para destruir todos os microorganismos então conhecidos.

Estas observações foram contribuições fundamentais para invalidar a teoria da geração espontânea, então em voga.

Hoje em dia se têm dois equipamentos padronizados para realizarem-se esterilizações: o forno de Pasteur, que esteriliza a seco (170°C) e a autoclave, que esteriliza a vapor d'água sob pressão (121°C, 2 atm).

Esses padrões de esterilização foram, portanto, não um capricho arbitrário de alguém, mas o produto de cuidadosas investigações científicas.

Apenas em 2004 foi encontrado, pela primeira vez, um microorganismo capaz de sobreviver às condições de autoclavagem: trata-se de uma arquea (um microorganismo mais primitivo que uma bactéria) anaeróbia ainda sem nome científico definitivo, que ficou conhecida como "Linhagem 121" ("Strain 121"), tendo sido isolada da água de chaminés hidrotérmicas submarinas. Em água, na presença de óxido de ferro (III) e formiato e na ausência de oxigênio, ela sobrevive por 2 horas, sem se reproduzir, a 130°C, por até 2 horas, voltando a se reproduzir se for transferida para novo meio a 103°C; reproduz-se a 121°C, dobrando sua população em 24 horas e, quando a 115°C, dobra sua população em 7 horas. Este é o exemplo mais extremo conhecido de um microorganismo hipertermófilo (ou seja, que gosta de altas temperaturas) e, como tal, permanece viável, mas não se reproduz, se mantido a temperaturas iguais ou inferiores a 85°C (KASHEFI, 2004).

Ainda assim, na ausência de umidade, esse hipertermófilo é destruído pelo forno de Pasteur.

O que nos leva a concluir que qualquer que seja o microorganismo que venha a contaminar o material (PET) a ser reciclado, este será exterminado quando exposto à temperatura média de processo de reciclagem (de 200° a 240°C), ao longo da duração desse processo e que, portanto, não há risco algum de contaminantes biológicos sobreviverem mesmo aos processos menos sofisticados de reciclagem, desde que estes envolvam processamento do PET aquecido até a temperatura necessária para calandrar ou fiar.

4. LEGISLAÇÃO

Inicialmente, apenas os EUA e alguns países da Europa permitiram o emprego do plástico reciclado para embalagens alimentícias. No Brasil, Chile, Austrália e mesmo em alguns países europeus, a aplicação do mesmo foi restringida ao contato indireto com alimentos, ou seja, em produtos multicamadas com uma camada interna de material garantidamente descontaminado (material virgem) (ERENO, 2005).

Os materiais reciclados não possuem uma legislação específica, incorrendo, portanto, na utilização dos mesmos limites de pureza e controle do material virgem, não devendo afetar a saúde do consumidor. No Brasil, de acordo com a resolução nº 105 de 1999 da ANVISA, é proibido o uso de plástico reciclado para contato com alimentos, exceto no caso de materiais reaproveitados no mesmo processo de transformação. Especificamente para aplicações de

PET em bebidas não-alcoólicas carbonatadas, a utilização de PET reciclado multicamada é explicitamente permitida (FORLIN et al, 2002).

Devido à pressão externa de multinacionais com interesse no mercado brasileiro, o interesse comum do Mercosul e a necessidade de colaborar para a ampliação dos índices de reciclagem, tornou-se possível vislumbrar uma abertura na legislação brasileira para eventuais empresas recicladoras que desejem exercer suas atividades no país para fins alimentícios. A resolução nº 23 de 2000 da ANVISA, estabelece a possibilidade de produzir PET reciclado para contato direto com alimentos, desde que a empresa requerente entre com um processo de petição junto à Vigilância Sanitária e prove que seu processo de reciclagem satisfaz os padrões internacionais de pureza adequada, exigida pelo Codex Alimentarius (Código para Alimentos), ILSI e FDA. Este procedimento é similar ao que ocorre na própria FDA, em que é emitida uma carta de não objeção, desde que o processo gere material que não exceda os níveis admissíveis dos contaminantes, como exemplificado pela carta de não objeção ao processo de super-limpeza de Franz, citado anteriormente.

Os órgãos de referência nessa área são, nos EUA, a FDA e, na Europa, o ILSI.

A abertura deste mercado no Brasil garantiria a valorização do produto final e, conseqüentemente, uma maior rentabilidade das atividades recicladoras. A volta das embalagens de alimentos ao seu próprio ciclo, caso seja mesmo autorizada, será uma vitória. No momento, devido ao seu curto tempo de vida útil as embalagens de PET representam aproximadamente 75% da fração de plásticos rígidos encontrada no lixo urbano (LEITE, 2003). Portanto, isso também contribuirá para uma despoluição mais efetiva do meio-ambiente, pelo menos no que se refere ao "lixo" de PET.

Entretanto, as coisas são menos fáceis do que parecem devido à natureza dos regulamentos exarados pela FDA, que, afinal, é a origem tanto das regras do ILSI como das da ANVISA (a resolução nº 105 de 1999 da ANVISA não é mais do que uma tradução da regulamentação da FDA para embalagens alimentícias). Vejamos o porquê:

A Food and Drug Administration (FDA) regulamenta, desde 1958, os componentes e aditivos para embalagens alimentícias, e é a responsável por manter seguro o abastecimento de alimentos no EUA. Isto inclui checar as condições dos alimentos e também evitar que a população venha a ser envenenada através das embalagens, por contaminação.

A FDA não tem nenhuma regulamentação especialmente dirigida às embalagens alimentícias feitas com material reciclado. A essência da regulamentação da FDA consiste em que o material reciclado pode ser usado desde que seja "adequadamente puro". No caso de material virgem, isto se consegue controlando a origem e a qualidade das matérias-primas. Como não se pode controlar a origem da matéria-prima do polímero reciclado, pois não se pode saber com segurança por onde ela passou, resta mostrar que o processo de reciclagem conduz a polímero tão ou mais puro que o polímero virgem. E, se a FDA se convencer que o processo em questão satisfaz esse quesito, depois de um processo longo caro e burocrático, ela concederá uma carta de não objeção (VOLOKH, 1995).

O problema principal é que "adequadamente puro" jamais é definido...

A FDA distingue a reciclagem de embalagens plásticas em três tipos (RULIS, 1992):

- Primária: que é o reuso do material dentro de um mesmo processo de fabricação. Entende-se que as sobras e os produtos rejeitados, em um processo que seja rigorosamente controlado, não podem apresentar contaminação, pois apresentam origem conhecida, sendo essencialmente idênticos ao material virgem inicialmente empregado, sendo, portanto material "adequadamente puro". Processos desse tipo costumam receber cartas de não objeção sem maiores problemas. Entretanto esses processos somente evitam o aumento da poluição, pois minimizam os resíduos gerados pela produção, sem se preocupar com o PET que já se encontra como parte do "lixo", no meio ambiente.

- Terciária: trata-se de reciclagem química. Esse processo envolve hidrolisar o polímero a seus monômeros, purificá-los e, então, repolimerizá-los; ele equivale ao processo que leva à matéria prima virgem, bastando para isso controlar a pureza dos monômeros, o que é muito mais fácil de se fazer, pois os monômeros não são macromoléculas. Pelo menos três diferentes processos desse tipo já receberam cartas de não objeção. Por outro lado, são processos caros, dificilmente viáveis economicamente, pelo menos nos tempos atuais.

- Secundária: processo em que o material é fisicamente reprocessado, moído, lavado, peletizado ou transformado em flakes, purificado e reprocessado em nova embalagem. Em geral a FDA é mais favorável a emitir a carta de não objeção quando o contato entre o alimento e a embalagem ocorrerá por um curto espaço de tempo ou quando há uma barreira entre a embalagem e o alimento (por exemplo, ovos) ou ainda quando o alimento será seguramente lavado antes do consumo. Neste tipo de reciclagem, a FDA é mais restritiva quanto a emitir cartas de não objeção, pois é difícil se determinar quanto tempo o alimento ficará em contato com o material e impossível se determinar a origem do material que passará pelo processo de reciclagem. Mas a reciclagem secundária é precisamente o processo mais interessante do ponto de vista econômico, além de ser aquele que conduz a uma despoluição efetiva do meio-ambiente, pois pode literalmente retirar PET do lixo e trazê-lo de volta ao mercado. Para uso em contacto com alimentos, o PET de reciclagem secundária tem de ser purificado por super-limpeza, e a carta de não objeção será emitida para um determinado processo sempre que a FDA se convencer que o produto final desse processo tenha a "pureza adequada", isto é, idêntica ou melhor do que a do material virgem e livre de contaminação por microorganismos. Para convencer a FDA são necessários testes onde o polímero é deliberadamente contaminado com diversos compostos, imergindo-se os flakes no contaminante puro, a 40 °C por duas semanas, sob agitação. O material é então seco e submetido ao processo de reciclagem secundária, que deve virtualmente eliminar a contaminação por completo.

Em 1995 (VOLOKH), a FDA tornou definitiva a Regra das Quantidades Mínimas Detectáveis (Thresholds of Regulation), inicialmente proposta em 1993, que determina que:

- Substâncias carcinogênicas são inadmissíveis, caso sejam detectadas, não importando quão pouco haja delas. Substâncias não-carcinogênicas que contenham impurezas carcinogênicas ou dêem origem a elas são aceitáveis desde que sua TD50 (Dose Tolerada por 50% da amostra, ou seja, que causa câncer em 50% dos animais testados) seja superior a 6,25 mg/kg.

- A concentração dietária esperada para a substância não exceda 0,5 ppb, exceto para substâncias que sejam consideradas aditivos permitidos para alimentos, as quais, entretanto, não podem ultrapassar 1% da quantidade aceitável para consumo diário desse aditivo.

- A substância não deve ter efeito sobre o alimento (por exemplo, não causar alterações de cor nem de sabor).

- O emprego da substância não pode causar impacto ambiental.

Para não correr riscos, a FDA emprega o princípio de que nenhuma cautela é excessiva, exercendo, com isso, precisamente cautela excessiva. Ela presume, entre outras coisas, que (VOLOKH, 1995):

- Sempre, todo o contaminante presente no material irá migrar, na sua totalidade para o alimento contido (o que não pode ser verdade, pois sempre ocorrerá partição...); por outro lado, se um contaminante presumivelmente presente não for detectado ela admite que esteja presente na concentração correspondente ao limite de detecção da técnica analítica empregada e que todo o contaminante irá migrar para o alimento.

- Uma substância que não seja comprovadamente não-carcinogênica possivelmente será demonstrada carcinogênica em algum momento.

- Para determinar o risco devido a alguma substância na concentração de 0,5 ppb, caso haja vários estudos na literatura, deve ser escolhido o que corresponda à espécie/sexo/órgão mais sensível descrita.

- Que comer o dobro dobra o risco, isto é, que haja linearidade entre dose e resposta, quando interpretando dados de TD50 (o que não é verdade, pois o emprego de doses maciças um composto, prática corrente nesses testes, contribui para causar câncer, pois estimula a divisão celular; também é questionável se os valores determinados para camundongos ou para ratos podem ser diretamente utilizados para humanos, especialmente quando se considera que há casos de compostos que são carcinógenos para ratos e não para camundongos e vice-versa... afinal, certamente camundongos e ratos são mais semelhantes entre si do que a humanos).

O problema principal causado pela avaliação excessivamente cautelosa de risco é que torna impossível a administração racional do risco. A FDA se propõe a manter o risco de câncer da ordem de uma parte por milhão, na hipótese mais pessimista possível. O risco real deve ser muitíssimo menor, mas deste nada se sabe, porque nunca se faz determinações realistas. Isso dificulta mais do que o necessário o retorno de PET de reciclagem secundária às embalagens de alimentos, em função de um risco muito superestimado à saúde humana, enquanto a degradação progressiva do meio-ambiente, tanto pelo descarte continuado, como pela não recuperação do já descartado, prossegue furiosamente.

5. CONCLUSÃO

Ficou clara, no decorrer do trabalho, a eficiência da descontaminação química pelos processos atuais de super-limpeza (FRANZ & WELLE, 1999a), que atinge ou excede os índices estipulados pela FDA, levando a "pureza adequada" e conduzindo a cartas de não objeção.

Fizemos algumas considerações sobre a contaminação biológica, que não parece ser realmente um problema, devido às condições de tempo e temperatura em que ocorre a reciclagem. Isso fica ainda mais evidente pelo fato que, mesmo sendo de uma cautela excessiva em relação aos outros aspectos a própria FDA não demonstra preocupação quanto à contaminação biológica em lugar algum de seus regulamentos

Estando certos de que hoje há processos capazes de efetuar com eficiência a descontaminação do PET, dois outros aspectos da reciclagem de PET no Brasil são dignos de nota:

O primeiro refere-se à coleta do material a ser reciclado. A Figura 2 demonstra que o Brasil recicla quase 50% DAS 360.000 TONELADAS DE PET, produzidas em 2004 (ABIPET). A maior consumidora de PET reciclado é a indústria têxtil, incentivada pelo preço, este consumo só não aumenta em volumes devido à falta de oferta de material para ser reciclado.

Fazendo-se um paralelo com o alumínio, material de maior sucesso no que tange à reciclagem, alcançando índice superior a 80% (CEMPRE, 2005), a coleta deste material proporciona oferta satisfatória porque proporciona ao catador uma boa remuneração, que o leva ter interesse em se treinar para distinguir o material com facilidade e eficiência dos materiais similares existentes no ambiente e a buscá-lo ativamente.

Quanto ao PET, apesar de ser o segundo material em remuneração (BOLSA DE RECICLADOS, 2005), seu índice de recuperação é de apenas 50%. Claro que o PET apresenta algumas desvantagens com relação ao alumínio, sendo as duas principais a remuneração e a densidade do material: pode-se compactar as latinhas facilmente diminuindo-se o volume e facilitando-se o transporte. Enquanto um quilograma de alumínio compactado ocupa um pequeno volume, a mesma massa de PET requer de vinte garrafas, que

ocupam um volume bem maior, dificultando o transporte de grandes quantidades e tornando a relação remuneração/volume muito desigual. Uma alternativa seria a criação de campanhas de coleta seletiva, em que o consumidor fosse orientado a não colocar as garrafas de refrigerante no lixo, mas sim em local separado e pré-determinado, facilitando para os catadores e/ou recicladores a coleta do material a ser reciclado e gerando canais de logística reversa.

Outro caminho seria gerar por legislação de responsabilidade social tornando o fabricante de refrigerante, por exemplo, responsável por todos os resíduos gerados por seu produto, incluídas aí as embalagens vazias geradas pelo consumo. Um exemplo bem sucedido dessa prática ocorre, no Brasil, com a reciclagem de pneus, em que os próprios fabricantes desenvolveram várias alternativas como: utilização dos pneus como combustível para a indústria do cimento e asfalto ecológico, entre outras.

O segundo tópico a ser discutido é o destino do material reciclado. Quando o PET alcançar o patamar de volume reciclado do alumínio, com mais de 80% (CEMPRE, 2005), mesmo com a indústria têxtil consumindo então mais material reciclado, visto que há possibilidade para tal, conforme dito acima, ainda assim haveria sobras, já que a oferta seria maior que a procura, podendo-se presumir um eventual desinteresse comercial pelo processo.

Franz e Welle (2002) organizaram uma coleta seletiva em mais de doze países e constataram que quase 95% do material recolhido para ser reciclado era originado de embalagens alimentícias. E com um processo de repolimerização, como o desenvolvido pelo grupo de Sati Manrich (SANTOS et al, 2004), o material pode ser reciclado um grande número de vezes, sem que haja perda das propriedades do PET, da mesma forma que ocorre com o alumínio, fechando o ciclo do material.

Assim, parece claro que o melhor mercado para consumir o PET reciclado, pela viabilidade econômica e para criar um novo nicho, seria o alimentício. Para isso será necessária uma atitude eminentemente política, no sentido de se estabelecerem regras realistas para o emprego do PET reciclado em embalagens de alimentos, desobstaculando esse nicho de mercado. Isso não pode resultar em riscos para a saúde das pessoas, mas também não pode ser regido pela cautela excessiva que hoje rege a FDA e, como consequência direta, também a ANVISA. Determinarem-se limites seguros realistas para contaminantes é um problema relativamente simples de pesquisa. Por outro lado, repelirem-se as atuais regras excessivamente cautelosas mas, encasteladas na tradição é puramente um problema político premente, especialmente porque o impacto ambiental causado pelas embalagens de PET é desproporcional: leva-se menos de um dia para se confeccionar uma embalagem e envasá-la com refrigerante; a mesma embalagem vazia demora em torno de 600 anos para se decompor, após ser depositada em algum aterro sanitário. (CEMPRE, 1997)

6. BIBLIOGRAFIA

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13230:** Simbologia indicativa de reciclabilidade e identificação de materiais plásticos. Rio de Janeiro, 1994.

ABIPET – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE EMBALAGENS DE PET. Disponível em <http://www.abepet.com.br>. Acesso em: 27 jan 2004.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução n.º 105**, de 19 de maio de 1999. Disponível em <http://www.e-legis.bvs.br/leisref/publ/showAct.php?id=103>. Acesso em: 15 abr 2005.

BAYER, F. L. Polyethylene terephthalate recycling for food-contact applications: testing, safety and technologies: a global perspective. *Food Additives and Contaminants*, Atlanta, v. 19, p. 111-134, 2002.

BAYER, F.L. The threshold of regulation and its application to indirect food additive contaminants in recycled plastics. *Food additives and contaminants*, Atlanta, v. 14, p. 661-670, 1997.

BELLIS, M. The History of Polyester. Polyester – PET. Disponível em <http://inventors.about.com/library/inventors/blpolyester.htm>. Acesso 03 dez 2005.

BGVV, 2000. *Use of mechanical recycled plastic made from Polyethylene Terephthalate (PET) for the manufacture of articles coming in contact with food*. (Berlim: Bundesinstitut für Gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin).

CEMPRE (COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM) e ABIPET (Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET). *Manual Reciclagem & Negócios – PET. Enfardamento e revalorização de sucatas de PET*. Outubro de 1997. (São Paulo - SP - Brasil).

COWAN, D. A. The upper temperature for life - where do we draw the line? *Trends in Microbiology*, Cape Town, v. 12, p. 58-60, 2004.

DUCHIN, F.; LANGE, G. Prospects for the recycling of plastics in the United States. *Structural Change and Economic Dynamics*, New York, v. 9, p. 307-331, 1998.

ERENO, D. De volta às origens: novos processos simplificam a limpeza e a recuperação de garrafas plásticas descartáveis. *Revista Pesquisa FAPESP*. São Paulo, v. 112, p. 68-71, jun. 2005.

FDA – FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. **Recommendations for chemistry data for indirect food additive petitions**. (Washington, DC: US FDA, Chemistry Review Branch). June, 1995

FDA – FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. Recycled plastics in food packaging (Washington, DC: US Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition. Office of Premarket Approval). 2002. Disponível em: <http://vm.cfsan.fda.gov/~dms/opa-recy.html>. Acesso em: 25 jan 2005.

FERON, V. J.; JETTEN, J.; DE KRUIJF, N.; VAN DEN BERG, F. Polyethylene terephthalate bottles (PRBs): a health and safety assessment. *Food Additives and Contaminants*, Netherlands, v. 11, p. 571-594, 1994.

FRANZ, R.; HUBER, M. WELLE, F. Recycling of post-consumer poly(ethylene terephthalate) for direct food contact application – a feasibility study using a simplified challenge test. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, Freising, v. 94, p. 303-308, 1998.

FRANZ, R.; MAUER A.; WELLE, F. European survey on post-consumer poly(ethylene terephthalate) (PET) materials to determine contamination levels and maximum consumer

exposure from food packages made from recycled PET. *Food Additives and Contaminants*, Freising, v. 21, p. 265-286, 2004.

FRANZ, R.; WELLE, F. Recycled poly(ethylene terephthalate) for direct food contact applications: challenge test of an inline recycling process. *Food Additives and Contaminants*, Freising, v. 19, p. 502-511, 2002.

FRANZ, R. Programme on the recyclability of food-packaging materials with respect to food safety considerations: polyethylene terephthalate (PET), paper and board, and plastics covered by functional barriers. *Food Additives and Contaminants*, Freising, v. 19, Supplement, 93-110, 2002.

FRANZ, R.; WELLE, F. Post-consumer poly(ethylene terephthalate) for direct food contact applications - final proof of food law compliance. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, Freising, v. 95, p. 424-427, 1999b.

FRANZ, R.; WELLE, F. Analytisches screening und bewertung von marktüblichen 'post-consumer' PET – Recyclaten für die erneute anwendung in Lebensmittelver-packungen (Analytical screening and assessment of commercial available post-consumer PET recyclates for the re-use in food packaging). *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, Freising, v. 95, p. 94-100, 1999a.

FRITSCH, K.; WELLE, F. Polyethylene terephthalate (PET) for packaging. *Plastics Europe*, Freising, v. 92, p. 40-41, 2002.

ILSI – INTERNATIONAL LIFE SCIENCES INSTITUTE. *Recycled of plastics for food contact use, guidelines prepared under the responsibility of the ILSI*. European Packaging Material Task Force (Brussels: International Life Sciences Institute). 1998.

JECFA - JOINT FAO/WHO EXPERT COMMITTEE ON FOOD ADDITIVES. *Evaluation of certain food additives and contaminants*. Forty-ninth Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee of Food Additives, WHO Technical Report Series 884 (1-84), Geneva: WHO, p. 1-89, 1997.

KASHEFI, K. Response to Cowan: The upper temperature for life – where do we draw the line? *Trends in Microbiology*, Massachusetts, v. 12, p. 60-62, 2004.

KASHEFI, K; LOVLEY D. R. Extending the upper temperature limit for life. *Science*, Massachusetts, v. 301, p. 934, 2003.

LEITE, P. R. **Logística Reversa** - Meio Ambiente e Competitividade. São Paulo : Prentice Hall, 2003. 246p.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. Polímeros de Interesse Industrial – Fibras. **Introdução a Polímeros**. 2. ed. Rio de Janeiro: Edgar Blücher, 1999. p. 107-119.

RECIPET – Disponível em: <http://www.recipet.com.br>. Acesso em: 17 ago 2005.

ROLIM, S. P. Prós e contras de reciclar plásticos. *Revista Plástico Moderno*. São Paulo, v. 8, p. 40-43, ago. 2001.

RUBIO, V. Happy microbes in hostile niches. A symposium on extremophiles. *International Microbiology*, Valencia, v. 7, p. 71-76, 2004.

RULIS, A. M. Threshold of Regulation: Options for Handling Minimal Risk Situations. In: FOOD SAFETY ASSESSMENT, ed. J. W. Finley, S. F. Robinson and D.J. Armstrong, American Chemical Society Symposium Series, 484, 1992, p.132-138.

RULIS, A. M. Establishing a Threshold of Regulation. In: *Risk assessment in Setting National Priorities*, ed. James J. Bonin and Donald E. Estevenson (Plenum Publishing Corp., 1989), p. 271, figure 1.

SADLER, G. D. Recycled PET for food contact: current status of research required for regulatory review. In: PROCEEDINGS OF THE SOCIETY OF PLASTIC ENGINEERING REGIONAL TECHNICAL CONFERENCE, Schaumburg, IL, USA, 1995 November, p. 181-191.

SANTOS, A. S. F.; AGNELLI, J. A. M; MANRICH, S. Tendências e Desafios da Reciclagem de Embalagens Plásticas. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. São Carlos, v. 14, nº 5, p. 307-312, 2004.

STAHL, I.; BEIER, P. Sorting of Plastics using Electrostatic Separation Process. In: XX IMPC PROCEEDINGS – AACHEN. Berlin, p. 395-400, set. 1997.

STROUP, R. L.; GOODMAN, J. C. Making the World Less Safe: The Unhealthy Trend in Health, Safety and Environmental Regulation. *Journal of Regulation and Social Costs*, January 1991, p. 5-18.

VOLOKH, A. The FDA vs. Recycling: Has Food Packaging Law Gone Too Far. October 1995. Disponível em: <http://www.rppi.org/ps196.html>. Acesso em 21 de maio de 2004.