

**Um olhar tecnológico sobre pet, sua reciclagem e o processo bottle-to-bottle****A technological look at pet, its recycling and the bottle-to-bottle process**

DOI:10.34117/bjdv6n6-635

Recebimento dos originais: 08/05/2020

Aceitação para publicação: 29/06/2020

**Monique Cristina Carvalho Matos**

Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais

Instituição: Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, UEZO

e-mail: nique.matos@hotmail.com

**Patricia S da Costa Pereira**

Doutora em Ciência e Tecnologia de Polímeros pelo Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano, IMA - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Instituição: Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, UEZO

Endereço: Avenida Manuel Caldeiras de Alvarenga, 1203, Campo Grande, CEP: 23070-200, Rio de Janeiro – RJ, Brasil

e-mail: patriciapereira@uezo.rj.gov.br / patyscp@gmail.com

**Shirleny Fontes Santos**

Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Instituição: Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, UEZO

Endereço: Avenida Manuel Caldeiras de Alvarenga, 1203, Campo Grande, CEP: 23070-200, Rio de Janeiro – RJ, Brasil

e-mail: shirleny@uezo.rj.gov.br / lenyfontes@yahoo.com.br

**RESUMO**

As garrafas PET conquistaram o mercado graças às suas propriedades de leveza, razoável resistência mecânica e moldabilidade a baixa temperatura, aliadas ao preço baixo. Porém, em seu pós-consumo, devido à pouca degradabilidade e baixa densidade, ocupam vastos espaços no ambiente por um longo tempo e se tornam uma preocupação ambiental. Nos últimos anos, não só aumentou o percentual de garrafas recicladas no Brasil, como também foram criadas legislações para utilização deste material em embalagens de alimentos e bebidas. Além disso, refrigerantes com garrafas produzidas totalmente com resina proveniente de garrafa PET pós-consumo (bottle-to-bottle) já vêm sendo vendidas comercialmente. Neste contexto, o presente trabalho visou, através de uma revisão de literatura, fazer um levantamento de informações sobre o PET com enfoque em dados atualizados sobre sua reciclagem, o contexto social relacionado ao reaproveitamento desse material e seu uso para produção de novas garrafas PET (tecnologia bottle-to-bottle).

**Palavras-chave:** PET, pós-consumo, bottle-to-bottle, tecnologias super-clean.**ABSTRACT**

PET bottles have conquered the market thanks to their properties of lightness, reasonable mechanical resistance and low temperature moldability, combined with the low price. However, in their post-consumption, due to little degradability and low density, they occupy vast spaces in the environment for a long time and become an environmental concern. In recent years, not only has the percentage

of recycled bottles increased in Brazil, but legislation has also been created for the use of this material in food and beverage packaging. In addition, soft drinks with bottles produced entirely with resin from a post-consumer PET bottle (bottle-to-bottle) are already being sold commercially. In this context, the present work is a survey of information about PET with a focus on recycling, social aspects and the bottle-to-bottle process.

**Keywords:** PET, post-consumption, bottle-to-bottle, super-clean technologies.

## 1 INTRODUÇÃO

O consumo de polímero pelas indústrias brasileiras de alimentos e embalagens corresponde a 32% em peso do total de polímeros do mercado. Entre esses polímeros, o poli (tereftalato de etileno), PET, é usado principalmente para produzir garrafas de refrigerantes, constituindo 71% em peso de seu mercado (Romão et al., 2009; Romão et al., 2010).

A preferência pela embalagem de PET em todo o mundo, é em virtude da redução de custos de transporte e produção, evitando desperdícios em todas as fases de produção e distribuição. Além disso, o PET proporciona alta resistência mecânica e química, suportando o contato com agentes agressivos, apresenta excelente barreira para gases e odores, é um material inquebrável e leve, apresenta excelente resistência química, é 100% reciclável e é inerte (ABIPET, 2010).

A introdução do PET no setor de embalagens plásticas deu origem a um novo problema ambiental que são os grandes volumes deste plástico descartados diariamente e que sem destinação correta poluem o solo, rios e oceanos, afetando diretamente a vida desses ecossistemas, além do ser humano. Soluções para reduzir esses impactos são buscadas mundialmente e dentre elas, encontra-se a reciclagem de embalagem feitas de garrafas PET (Canevarolo, 2004; Canevarolo, 2006; Lucas et al., 2001; Mano, 1991)

A reciclagem é considerada uma das melhores opções na hierarquia de gerenciamento de resíduos sólidos para reduzir os impactos apresentados pelos resíduos de plástico de embalagens pós-consumo. A reciclagem oferece a oportunidade de usar plásticos recuperados para fabricar um novo produto. Além disso, através da reciclagem é possível diminuir a quantidade de rejeito urbano, conservar reservas de energia não renováveis e agregar valor social e ecológico a produtos, valorizando a qualidade de vida e estendendo uma nova oportunidade de recuperação e equilíbrio ao meio-ambiente (Benitez et al., 2002; Ezeah et al., 2013).

Os processos de reciclagem são a melhor maneira de reduzir resíduos de PET. O PET é um material reciclável extremamente resistente, leva em média 100 anos para se decompor e é um grande causador da degradação do meio ambiente (Formigoni et al., 2012; Gao et al., 1997; Liu et al., 2004). Dentre os muitos benefícios da reciclagem do PET, temos: redução do volume de lixo coletado, economia de petróleo, economia de energia, geração de empregos (catadores, sucateiros, operários)

e menor preço para o consumidor dos artefatos produzidos com plástico reciclado (aproximadamente 30% mais barato do que os mesmos produtos fabricados com matéria-prima virgem) (Gontijo et al., 2010).

Os esforços para reciclar os resíduos poliméricos estão principalmente concentrados na classificação, separação e reprocessamento de um único material polimérico, sendo o PET pós-consumo um dos mais explorados para novas aplicações (Santos et al., 2004; Wiebeck, 1997; Vilapana e Karlsson, 2008).

O PET pós-consumo encontra variedades de aplicações. Segundo dados da ABIPET o maior mercado para o PET pós-consumo no Brasil é a produção de fibra de poliéster para indústria têxtil (multifilamento), onde será aplicada na fabricação de fios de costura, forrações, tapetes e carpetes, mantas de TNT (tecido não tecido), entre outras. É usado também na fabricação de cordas e cerdas de vassouras e escovas monofilamento), na produção de filmes e chapas para boxes de banheiro, termo-formadores, placas de trânsito e sinalização em geral (ABIPET, 2016; Formigoni et al, 2012). Além disso, o reaproveitamento das embalagens PET pós-consumo para novas embalagens em contato com alimentos, existência de demanda e aceitabilidade no mercado interno de produtos fabricados com materiais reciclados, representa uma rota empresarialmente viável e ecologicamente correta (Forlin e Faria, 2002).

Através da resolução RDC nº 20 de março de 2008, a ANVISA possibilitou o uso de tecnologias para a produção da resina reciclada pós-consumo (PET-PCR) grau alimentício para fabricação de embalagens de alimentos utilizando apenas resina reciclada. Com isso tornou-se possível a fabricação de garrafas PET recicladas a partir das garrafas PET pós-consumo, a chamada tecnologia *bottle-to-bottle*. Este processo basicamente adiciona uma ou mais etapas de descontaminação, chamadas de *super-clean*, ao processo de reciclagem tradicional (Cruz et al., 2011; Welle, 2011; Welle 2013).

Neste contexto, o presente trabalho visou, através de uma revisão de literatura, fazer um levantamento de informações sobre o PET com enfoque em dados atualizados sobre sua reciclagem, o contexto social relacionado ao reaproveitamento desse material e seu uso para produção de novas garrafas PET (tecnologia *bottle-to-bottle*).

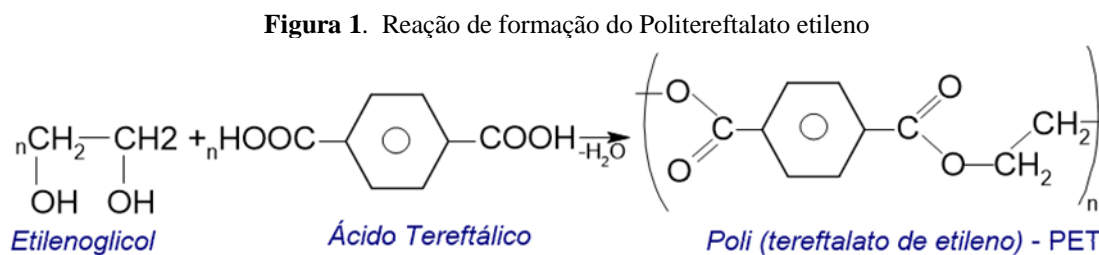
## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 PET: CARACTERÍSTICAS GERAIS E PROPRIEDADES**

A descoberta do poli (tereftalato de etileno) - PET tem pouco mais de 70 anos e sua evolução e utilização em diversas funções tem sido explorada e desenvolvida ao longo dos anos. Em um primeiro momento, no início da década de 1950, o PET era usado pela indústria Têxtil. Foi somente

na década de 70 que a resina PET começou a ser usada na fabricação de embalagens, após ser aprovada em rigorosas revisões sobre segurança e meio ambiente. Na década de 80, os EUA e o Canadá iniciaram a coleta das Garrafas PET, efetuando sua reciclagem para produzir enchimento de almofadas. Conforme a qualidade da reciclagem da resina PET foi melhorando, diversas outras aplicações começaram a ser utilizadas: tecidos, lâminas e embalagens não alimentícios. A reciclagem do PET só começou a ser utilizada para a fabricação de embalagens de alimentos na década de 90, nos EUA. Em 2012, a AMBEV lançou a primeira garrafa brasileira com 100% de PET reciclado (Freire et al., 1997; Gorni, 2000; Matos, 2015).

O PET é um poliéster termoplástico cuja estrutura molecular origina-se da reação de policondensação entre as unidades de etileno glicol (segmento flexível) e de ácido tereftálico (segmento rígido). Estas unidades são dispostas em estruturas planares praticamente estendida, como mostra a representação esquemática na Figura 1.



O PET é um polímero semicristalino, com baixa velocidade de cristalização, podendo apresentar-se amorfo a temperatura ambiente quando resfriado bruscamente a partir do estado fundido ou cristalino, quando cristalizado por estiramento e/ou tratamento térmico. A velocidade com a qual o material cristaliza está relacionada com a sua massa molecular e consequentemente com a viscosidade do polímero. O aumento da massa molecular proporciona uma diminuição na mobilidade da cadeia de PET e consequentemente uma diminuição na velocidade de cristalização. A cristalinidade máxima, usada para aplicações em engenharia não ultrapassa 55%.

Para o PET grau injeção é necessária rápida velocidade de cristalização, pois a temperatura do molde deve ser mais baixa para dar as peças alto grau de cristalinidade. Existem outros tipos de PET usados na indústria tais como grau filme ou grau garrafa, os quais são mais amorfos. No tipo usado para as garrafas de bebidas carbonatadas, o grau de cristalinidade é normalmente em torno de 25% (Banach et al., 2001; Dimitrov et al., 2013; Echevarría et al., 1999; Mano, 1991; Mano e Mendes, 1999).

O PET é um material facilmente degradável quando processado. O processo degradativo mais importante no PET é a hidrólise, que ocorre quando o polímero é submetido a altas temperaturas,

sendo indispensável uma etapa de secagem anterior a qualquer processamento. A hidrólise é uma reação química em que a água reage com o polímero, resultando em um material de menor peso molecular ou um monômero. Essa redução de peso molecular causa decréscimo nas propriedades mecânicas tais como resistência tensil, alongamento e ductilidade, o que torna o material quebradiço. A hidrólise pode ser catalisada tanto por ácidos como por bases, o que torna este tipo de degradação nociva, pois um dos produtos de hidrólise do PET é um fragmento da molécula com um grupo carboxila terminal, capaz de catalisar uma próxima reação de hidrólise, conferindo assim um caráter auto-catalítico para este processo (Abdelaal et al., 2008; De Paoli et al., 2008; Echevarría et al., 1999).

Dentre as principais vantagens do PET pode-se citar: Excelente estabilidade dimensional, fácil conformação, versatilidade de design e cores, fácil processamento, levando a alta produtividade e rendimento; Custos competitivos; Alta resistência ao impacto e tração, segurança no manuseio e eliminação de perda no transporte (comparado ao vidro); Alta resistência a pressão interna; Peso reduzido, levando a redução no preço do frete (comparado ao vidro); Totalmente reciclável (100%). Tem uso extensivo, pois sua diversidade de processamento e conformação permite ter propriedades apropriadas a diferentes necessidades (Freire et al., 1997; Gorni, 2000; Romão et al., 2009).

## 2.2 RECICLAGEM DE PET

### 2.2.1 Características Gerais

A reciclagem de polímeros é usualmente classificada em quatro categorias: primária, secundária, terciária (ou química) e quaternária (ou energética). A reciclagem primária e a secundária são conhecidas como reciclagem mecânica, a principal diferença entre elas é que na primária utiliza-se polímero pós-industrial e na secundária, pós-consumo (Spinacé et al., 2005).

As características gerais de cada tipo de reciclagem podem ser assim resumidas (Spinacé et al., 2005):

Reciclagem primária: resíduos poliméricos industriais são reintroduzidos na escala produtiva e transformados em produtos com características equivalentes àquelas dos produtos originais.

Reciclagem secundária: conversão de polímeros pós-consumo em produtos que tenham menor exigência do que o produto obtido com polímero virgem, por exemplo, reciclagem de embalagens de polipropileno para obtenção de sacos de lixo.

Reciclagem terciária: processo tecnológico de produção de insumos químicos ou combustíveis a partir de resíduos poliméricos.

Reciclagem quaternária: processo tecnológico de recuperação de energia a partir da incineração controlada de resíduos poliméricos.

Focando na reciclagem de PET, sabe-se que é uma das mais desenvolvidas no Brasil e no

mundo. Além dos índices de reciclagem serem relativamente altos, existe uma enorme gama de aplicações para o material reciclado, que promove uma demanda constante e garantida. Entre as principais aplicações do PET reciclado estão a indústria têxtil, setor automotivo, fabricação de chapas, filmes, resinas insaturadas e alquídicas usadas para tintas e outros fins, fitas de arquear, tubos e conexões e outros (ABIPET, 2016; Welle, 2011; Welle, 2013).

No décimo censo divulgado pela ABIPET (Associação Brasileira da Indústria do PET), que é uma entidade brasileira sem fins lucrativos que reúne a cadeia produtiva do setor de PET no Brasil e representa cerca de 80% do setor, verificou-se que em 2015 a reciclagem de PET estava por volta de 51% em relação à quantidade de produtos consumidos, tendo sido observada pequena queda em relação aos últimos três anos, fato atribuído a baixa atividade econômica (queda da demanda) e redução do preço do petróleo que fez com que setores como têxtil, químico e automotivo tivessem quedas em suas atividades, refletindo negativamente sobre a reciclagem, já que são grandes consumidores de matéria-prima reciclada (ABIPET, 2016). Este mesmo censo mostrou também que o uso do PET reciclado para embalagens cresceu e se aproximou do patamar da indústria têxtil, que por muitos anos foi o principal setor de uso do PET reciclado, essa mesma tendência tem sido observada nos Estados Unidos e na Europa (ABIPET, 2016; Welle, 2011; Welle, 2013). Além disso, muitos estudos já apontam a aplicação de PET no processo *bottle-to-bottle* (garrafas em novas garrafas) como o setor com melhor perspectiva de crescimento em termos de uso da PET reciclada nos próximos anos (Gontijo, 2010; ABIPET, 2016; Welle, 2011; Welle, 2013).

Especificamente para reciclagem de PET são frequentemente mais utilizadas as reciclagens química e mecânica. A reciclagem química do PET é conseguida por despolimerização total em monômeros ou despolimerização parcial em oligômeros. Os produtos químicos utilizados para a despolimerização do PET incluem água (hidrólise), metanol (metanólise) e etilenoglicol (glicólise) (Karayannidis et al., 2007; Welle, 2011).

Muitos trabalhos científicos reportam o estudo da reciclagem química do PET. Cheng-Ho et al., 2001, por exemplo, estudaram o efeito da temperatura, tempo de reação e quantidade de catalisador na glicólise do PET, sugerindo um modelo fatorial que indica a influência de cada um destes parâmetros. Mancini et al., 2002, estudaram meios reacionais com base na hidrólise, encontrando o ácido sulfúrico como melhor catalisador. Já Di Souza et al., 2008, estudaram a dissolução do PET em meio aquoso alcalino na presença de tensoativos, verificando que o excesso de NaOH (hidróxido de sódio) dificulta a despolimerização.

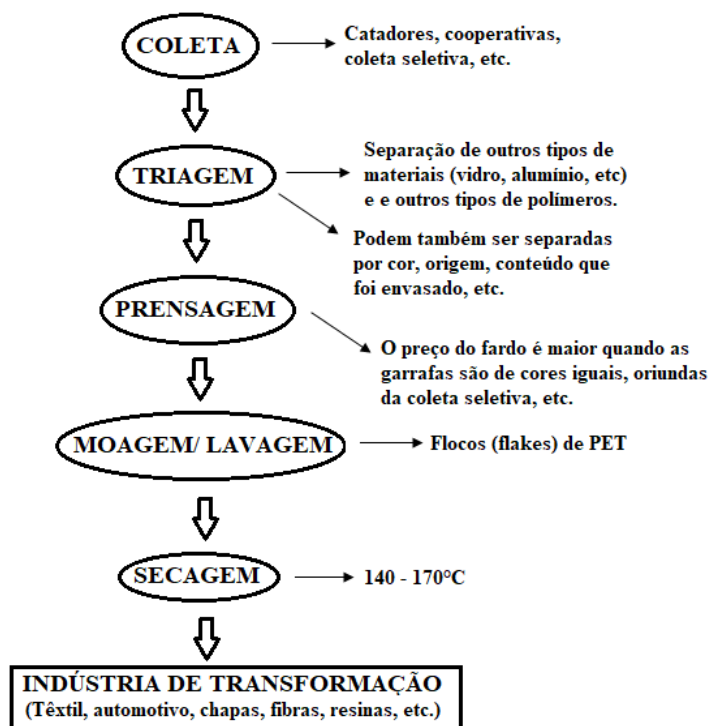
A reciclagem química é considerada um método confiável de reciclagem, pois obtém e purifica os monômeros em qualidade suficiente para serem reintroduzidos no processo de polimerização do PET, entretanto apresenta como desvantagem seu elevado custo, principalmente



para aplicação em larga escala, de modo que é pouco explorada no Brasil (Romão, 2009; Bimestre, 2014; Welle, 2011).

A reciclagem mecânica de PET pós-consumo, mais utilizada no Brasil e no mundo, normalmente consiste de etapa inicial de coleta, triagem e enfardamento do PET pós-consumo, em seguida os fardos são levados para remoção de contaminantes por nova etapa de triagem, seguida de lavagem, secagem e fusão, como esquematizado na Figura 2 e já amplamente discutidos em muitos textos científicos (Mancini et al, 1998; Romão et al, 2009; Gorni, 2000, Awaja et al, 2005; ABIPET, 2020).

**Figura 2.** Esquema da reciclagem mecânica convencional de PET



(Autor, 2020).

A principal vantagem da reciclagem mecânica é o fato de que o processo é relativamente simples, ambientalmente amigável e requer baixo investimento comparado às reciclagens terciária e quaternária. A principal desvantagem consiste nas alterações das propriedades do polímero que podem ocorrer durante o processo (Romão, 2009; Bimestre et al., 2014; Welle, 2011).

Particularmente para o PET, a presença de umidade e contaminantes no processo de reciclagem promovem reações hidrolíticas que degradam as cadeias do polímero, diminuindo sua viscosidade, alterando a cristalinidade e as propriedades mecânicas (Mancini et al., 1998). Entretanto, devido ao controle do processo atualmente já alcançado, com uso de vácuo e/ou agentes estabilizantes, esses problemas podem ser minimizados, de modo que o PET reciclado mantém um

nível de propriedades que possibilita grande quantidade de aplicações (Welle, 2011; ABIPET, 2020).

A reciclagem mecânica convencional também não é suficiente quando se trabalha com o reprocessamento do reciclado. Após vários ciclos de extrusão a degradação das cadeias ocorrida por causa da humidade, dos contaminantes e da presença de subprodutos da quebra das cadeias do próprio polímero é mais efetiva (Awaja et al., 2005, Giraldi et al., 2005). Mancini et al., 1998 mostraram em seu estudo que as propriedades mecânicas e o grau de cristalinidade do PET mudaram drasticamente depois de vários ciclos de reprocessamento. A redução da massa molar do polímero o tornou o polímero rígido, quebradiço, com baixas resistências do fundido e mecânica.

Para recuperação de propriedades durante reprocessamento as indústrias especializadas têm utilizados a extrusão reativa, que é basicamente conseguida através da adição de substâncias aos polímeros, particularmente extensores de cadeia, os quais aumentam a massa molecular do polímero durante o processamento e contribuem para melhorias de outras propriedades, como as reológicas, mecânicas e químicas (Karayannidis et al., 2000; Awaja et al., 2005; Bimestre et al., 2014).

No trabalho de Bimestre et al, 2014, onde realizou –se extrusão reativa de rejeitos de PET com extensores de cadeia. Foram testados os extensores metil–difênil–diisocianato polimérico (PMDI) e o difosfito de bis–(2,4–di–t–butilfenol) pentaeritritol (Irgafos® 126) e comparado o desempenho destes com o extensor usualmente aplicado, o dianidrido pirometálico (PMDA). Verificou-se boa efetividade dos extensores com relação ao aumento da massa molar do polímero, entretanto para altas concentrações a cristalinidade foi prejudicada, tendo sido associado às dificuldades de empacotamento das cadeias em virtude do aumento da massa molar. O PDMI foi o que apresentou melhores resultados, promovendo inclusive aumento da resistência a tração do PET reciclado.

Apesar de ser uma alternativa já industrialmente utilizada, a extrusão reativa ainda é alvo de muitos estudos dado que muitas vezes altera as taxas de cristalização, percentual de cristalinidade e resistência térmica do polímero reciclado, o que afeta seu uso final. Em muitos processos ocorre diminuição na cristalinidade devido, entre outros fatores, ao elevado grau de ramificação que dificulta o empacotamento das cadeias (Giraldi et al., 2005). No entanto, a cristalização tende a aumentar quando temperaturas mais elevadas são aplicadas devido à facilidade de movimentação de cadeias. Alterações em propriedades térmicas, tais como,  $T_g$  (temperatura de transição vítrea),  $T_m$  (temperatura de fusão) e a  $T_c$  (temperatura de cristalização) também têm sido reportadas (Awaja et al., 2005, Karayannidis et al., 2000).

Outra alternativa muito explorada nos textos científicos para recuperação e melhoramento de propriedades do reciclado diz respeito à adição de outras fases às matrizes poliméricas, ou seja, obtenção de compósitos. Diversos tipos de polímeros, incluindo o PET, têm tido suas propriedades



melhoradas pela incorporação, principalmente, de fibras (sisal, coco, juta, fibras de vidro, etc) e materiais inorgânicos como as argilas e as micas (Lai et al., 2008; Meri et al., 2014; Maurício et al., 2011; Leite et al., 2011).

Para exemplificar, há o trabalho de Ammala et al, 2008, em que foram preparados nanocompósitos entre PET e duas argilas, na proporção de 6% em peso, uma montmorilonita organicamente e uma fluormica sintética ambas organicamente modificadas, foi adicionado ao sistema também um ionômero que facilitou a exfoliação das argilas. Verificou-se por microscopia (MEV e TEM) que a fluormica proporcionou aumento da viscosidade e estabilidade térmica dos compósitos porém a montmorilonita exibiu certa degradação na temperatura de processamento do PET.

Outro exemplo interessante pode ser encontrado no trabalho de MERI et al, 2014 no qual investigou-se o comportamento quanto a fluência de compósitos de PET reciclado com montmorilonita processados por extrusão em extrusora dupla rosca. A proporção mássica de argila de 1% contribuiu para aumento no modulo de elasticidade e diminuição da fluência dos compósitos em relação ao polímero reciclado puro.

### **2.2.2 Contexto Social**

A reutilização e a reciclagem de itens pós-consumo sem dúvida são práticas sustentáveis importantes para diminuir a produção de resíduos, contribuir para economia de matérias-primas e conservação dos recursos naturais não-renováveis, como o petróleo, que é a matéria-prima para o plástico. Inclusive, ao contribuir para diminuir a concentração de resíduos no meio ambiente, a reciclagem atua diminuindo a propagação de doenças, influenciando a saúde das pessoas e, de forma indireta, o setor econômico relacionado a saúde (Gonçalves-Dias et al., 2006; Rebouças et al, 2017). Contudo, há mais um contexto social relacionado a esse tema, muitas vezes pouco explorado nos textos científico-tecnológicos, sobre o qual também vale a pena lançar um olhar.

Atualmente, no Brasil e em boa parte do mundo a questão do “problema do descarte de lixo urbano” está diretamente relacionado com o custo elevado e a falta de locais para implantação de aterros sanitários, os quais são ainda muito utilizados, mas que teriam sua importância consideravelmente diminuída se ao invés de uma busca por locais para descartar o lixo fossem realizados mais investimentos para desenvolver a indústria da reciclagem, com incentivos por exemplo para amplificação do serviço de coleta seletiva e valorização de catadores e cooperativas (Cruz et al., 2003, Fehr et al., 2000, Gontijo et al., 2010).

A coleta seletiva e a correta destinação dos itens coletados ainda não é uma realidade para uma grande quantidade de pessoas em todo o mundo, além da quantidade ainda menor de iniciativas

relacionadas ao aproveitamento correto dos resíduos orgânicos que também podem ter destinação correta e ambientalmente amigável, como na produção de adubo que pode ser feita inclusive no ambiente doméstico (Calixto, 2016; Trigueiro, 2018).

Hoje ainda se vê que em grande proporção a coleta e manejo de itens recicláveis é realizada por catadores e cooperativas, ou seja, são pessoas economicamente vulneráveis, sem qualificação profissional e que vêm nisso apenas uma atividade de subsistência, já que não recebem o retorno financeiro e valorização profissional compatíveis com a importância do trabalho. Além disso, estes trabalhadores muitas vezes vão procurar os recicláveis em lixos comuns em regiões residenciais ou nos “lixões”, onde entre outros fatores se expõem a doenças (Gonçalves-Dias et al., 2006).

Num âmbito mais científico-tecnológico, existem muitos estudos interessantes sobre a gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil e no mundo em que se discutem entre outros fatores os problemas relacionados à coleta (Sembiring et al., 2010), despejos (Mancini et al., 1998) e/ou catadores (Carmo et al., 2010). Alguns trabalhos caracterizam os resíduos em cidades específicas (Araújo et al., 2007; Mancini et al., 2007; Lino et al., 2010; Bortoleto et al., 2010; Heller et al., 2003), como no trabalho de Pacheco et al., 2012, onde foi verificado que a capacidade de reciclagem de plástico das recicladoras da cidade do Rio de Janeiro é menor que a quantidade de plástico despejada nos aterros. Além disso, a maior parte da matéria-prima obtida por elas, cerca de 60%, é coletado por catadores.

Alguns autores científicos também ressaltam em seus trabalhos que a legalização, o incentivo e a profissionalização dos catadores e cooperativas, além de melhor inserir socialmente essa parcela da população, podem contribuir para a viabilização da coleta seletiva e conseqüentemente melhoria no quadro geral relacionado à reciclagem no Brasil e no mundo (Santos et al., 2004; Besen et al., 2014).

É fato que as iniciativas vêm aumentando, principalmente graças ao apelo crescente ao desenvolvimento de um mundo mais sustentável, verifica-se que um grande número de empresas mundialmente conhecida vem se dedicando à incorporação de tecnologias ambientalmente amigáveis, talvez usando isso também como estratégia de marketing, mas que de qualquer maneira ajudam o meio ambiente e influenciam as pessoas também a pensarem cada vez mais no assunto. Uma dessas estratégias consiste no uso e desenvolvimento da tecnologia *bottle-to-bottle* (Revista Exame, 2012; Mancini, 2013; The Coca-cola company, 2019)

### 2.3 PROCESSO BOTTLE-TO-BOTTLE

O sistema chamado *bottle-to-bottle* (BTB) é o processo de reciclagem das garrafas PET utilizando as mesmas para fabricação de novas garrafas PET para armazenamento de bebidas e/ou

produtos alimentícios (Welle, 2011). Além de contribuir para geração de menor quantidade de lixo, entre outras vantagens, a fabricação de uma garrafa PET reciclada demanda 70% menos energia e 20% menos água do que a de uma garrafa feita de material virgem (EXAME, 2012). Este processo já é utilizado nos Estados Unidos desde 1991, em alguns países da Europa desde 1998 e no Brasil, desde 2012, tendo sido a empresa AMBEV uma das pioneiras fabricando a chamada garrafa de guaraná verde, fabricada com 100% de PET reciclado (Gontijo, 2010; Welle 2011; Welle, 2013; Mancinni, 2013; AMBEV, 2020).

No Brasil, a luta para uso da reciclagem *bottle-to-bottle* começou com a Portaria nº 987, publicada em 1998, pela Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde que tornou possível a utilização de resina pós-consumo em embalagens multicamadas destinadas ao acondicionamento de bebidas carbonatadas não alcoólicas. Embalagens de PET co-injetadas poderiam ser utilizadas com três camadas fazendo-se um “sanduíche” de PET virgem com recheio de PET reciclado (ANVISA, 1998).

Já em 2008, após anos de discussões sobre o tema, a resolução RDC N.20/2008, emitida pela ANVISA, estabeleceu requisitos gerais e critérios de avaliação/autorização visando consolidar a utilização de embalagens PET fabricadas com composições variáveis de PET virgem e pós-consumo reciclado descontaminado destinados a entrar em contato com alimentos. Este novo regulamento prevê que as empresas recicladoras operem com tecnologias aprovadas pela agência norte-americana Food and Drug Administration (FDA) e pelo Instituto Fraunhofer, da Alemanha, tais como as tecnologias denominadas *super-clean* (Cruz et al., 2011).

A tecnologia *bottle-to-bottle* não havia sido utilizada há mais tempo devido à preocupação dos órgãos responsáveis em relação a possibilidade de contaminação das garrafas PET em seu primeiro uso por substâncias que se mantém nos produtos reciclados e poderiam comprometer a qualidade dos produtos alimentícios armazenados com as garrafas recicladas e conseqüentemente a saúde das pessoas (Cruz et al., 2011; Welle, 2011).

Essa preocupação está diretamente relacionada à forma de gestão dos resíduos sólidos, conforme já mencionado, o sistema de coleta seletiva proporcionaria uma separação mais eficiente dos polímeros pós-consumo utilizados para fins alimentícios daqueles utilizados para fins não alimentícios (armazenamento de itens de limpeza, óleos, pesticidas, combustíveis, etc.) diminuindo a contaminação, além da valorização de catadores, cooperativas, menos contaminação do meio ambiente, etc.. Entretanto além da realidade da coleta seletiva estar longe de ser uma realidade para maioria da população, mesmo com uma separação mais eficiente do “lixo”, a possibilidade de contaminação não poderia ser completamente descartada. Entretanto, essa questão foi contornada e está hoje bem consolidada com o desenvolvimento das tecnologias *super-clean* para

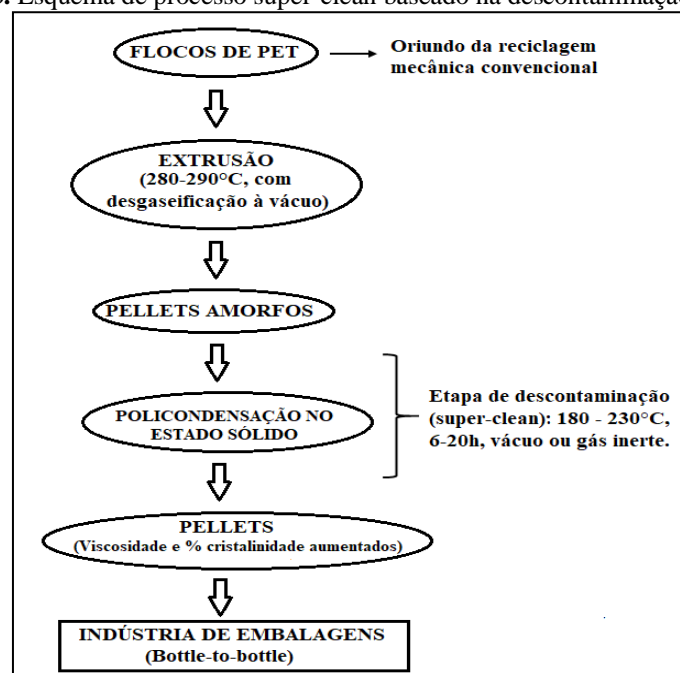
descontaminação de reciclados para uso alimentício. (Cruz et al., 2011; Welle, 2011; EXAME, 2012; Mancinni, 2013).

As tecnologias *super-clean* consistem no uso de uma ou mais etapas adicionais ao processo convencional de reciclagem mecânica para promover efetiva remoção de contaminantes. Existem vários processos, inclusive patenteados, que são considerados *super-clean*, apesar de algumas diferenças encontradas entre eles, no geral, baseiam-se em princípios similares: tratamento em altas temperaturas, com vácuo ou gás inerte e tratamento da superfície do polímero com substâncias químicas não nocivas ao ser humano. Além disso, os processos diferem nas etapas em que a descontaminação ocorre, podendo ser realizada nos flakes de polímeros reciclados ou no material reciclado já pelletizado, outros se baseiam em processos de despolimerização ou despolimerização parcial da superfície de *flakes*, etc. (Cruz et al., 2011; Welle, 2011).

No Brasil, além da exigência da tecnologia *super-clean*, um outro critério estabelecido pela ANVISA é que a fração de garrafas PET de aplicações não-alimentares no fluxo de entrada para a usina de reciclagem seja de no máximo 5% para evitar a possível presença de aditivos não listados no regulamento da FDA. E estabelece ainda um tempo de armazenamento de 365 dias a 25°C, assumindo assim uma postura preventiva, pois a maioria das bebidas tem um prazo de vencimento muito mais rápido do que a embalagem (Matos, 2015).

Particularmente, para reciclagem de PET com fim de uso na tecnologia *bottle-to-bottle*, um esquema de processo *super-clean* que se baseia na descontaminação de pellets do material obtidos após reciclagem mecânica convencional, pode ser visualizado na Figura 3.

**Figura 3.** Esquema de processo *super-clean* baseado na descontaminação de pellets



(Autor, 2020).

Nesse processo *flakes* de PET reciclado são reextrudados, o que favorece a homogeneização do material, para obter pellets na forma amorfa que passam então por um tratamento que consiste numa reação de policondensação no estado sólido (SSP) que é também utilizada no preparo de PET virgem. As elevadas temperaturas ( $> 220^{\circ}\text{C}$ ) aplicadas por longo tempo (6-15h) proporcionam além da eliminação dos contaminantes um aumento da viscosidade e da cristalinidade do polímero, comparáveis a da resina PET virgem. Análises para avaliar a concentração de contaminantes mostram que o nível de contaminação é inferior ou igual ao da resina de PET virgem (Cruz et al., 2011; Welle, 2011).

Os órgãos reguladores de questões sanitárias, como a FDA nos Estados Unidos e a ANVISA no Brasil, recomendam para avaliação da eficiência de limpeza dos processos de reciclagem para obtenção de polímeros grau alimentício o chamado "Teste Desafio". Este teste é realizado, por exemplo, em PET que tenha sido deliberadamente contaminado. O objetivo é simular o uso indevido de garrafas de PET, tais como a sua utilização para o armazenamento de solventes ou produtos químicos domésticos. O polímero é então artificialmente contaminado e submetido ao processo de reciclagem. A diferença entre a contaminação inicial e a contaminação residual no produto final é uma medida da eficiência de limpeza da reciclagem. O processo pode ser considerado eficaz quando a concentração de contaminantes, conforme listagem da FDA, no material reciclado, não exceder uma concentração na dieta diária de  $0,5 \mu\text{g}/\text{kg}$  ou de  $1,5 \mu\text{g}$  de alimento/pessoa/dia na questão da ingestão diária estimada (IDE) (Cruz et al., 2011; Welle, 2011; Matos, 2015).

### 3 CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES

O PET foi descoberto na década de 70, desde então seu uso e variedade de aplicações continuam crescendo e se espalhando por todos os recantos do mundo, mesmo assim continua sendo um tema atual. Isso porque devido ao constante crescimento do seu consumo, inclusive de produtos obtidos por meio da sua reciclagem, e o crescente apelo pelo desenvolvimento de um mundo mais sustentável, o PET se tornou um símbolo do quanto o polímero pode poluir o meio ambiente se mal descartado e o quanto ele pode contribuir para criação de novas tecnologias quando soluções sustentáveis relacionadas à sua destinação pós-consumo são implementadas.

A reinvenção do uso do PET por meio da tecnologia *bottle-to-bottle*, possibilitada pelo desenvolvimento das técnicas *super-clean* de descontaminação, mostra à sociedade que o polímero pode vim a ser hoje, o que ele deveria ser no passado, ou seja, um material do futuro, que pode ser reutilizado diversas vezes por meio de técnicas relativamente não complexas e de baixo custo.

As reinvenções dos polímeros, exemplificadas pelos avanços no uso do PET reciclado contribuem também para “espalhar” conceitos de sustentabilidade a todos as pessoas, de todas as

idades e de todas as classes sociais, já que ao se colocar para o consumidor que ele está usando uma “garrafa verde” o conceito envolvido nesse processo é transmitido de forma simples e espontânea e quem sabe aos poucos vai incentivar as pessoas ao cuidado com a destinação deste e de outros materiais, algo que em verdade ainda não está devidamente concretizado na cultura das sociedades modernas.

Este breve levantamento realizado, inclusive, mostra que apesar dos avanços em termos de reciclagem, que também cresceu ao longo dos anos, esse crescimento precisa continuar pois a quantidade de material reciclado ainda não acompanha o ritmo do que é produzido e consumido, algo que passa por falta de implementação de políticas públicas voltadas para esse fim entre outros fatores.

É preciso colocar ainda que embora muito tem sido estudado sobre a resina PET virgem e a reciclada a partir de material pós-consumo, não foram encontrados estudos de domínio público com a finalidade de investigar as propriedades da garrafa bottle-to-bottle após diversos ciclos de reuso, algo que deve aparecer na literatura específica nos próximos anos. Isto ocorre principalmente porque o reuso das garrafas PET na fabricação de novas embalagens alimentícias é relativamente novo e os possíveis problemas durante a fabricação destas garrafas ainda não foi muito difundido, particularmente no Brasil.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj).

### REFERÊNCIAS

ABDELAAL, M. Y.; SOBAHI, T. R.; MAKKI, M. S. I. Chemical Degradation of Poly (Ethylene Terephthalate). **International Journal of Polymeric Materials**, v. 57, n. 1, p. 73-80, 2008.

ABIPET - Associação Brasileira da Indústria do PET. O que é o PET?, 2010. Disponível em:<<http://www.abipet.com.br/index.html?method=mostrarinstitucional&id=81>>. Acesso em: 20 de maio 2020.

ABIPET - Associação Brasileira da Indústria do PET. Reciclagem: como acontece. Disponível em: <http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=69> Acesso em: 26 de maio 2020.

ABIPET - Censo da reciclagem do PET no Brasil, 10ª edição, 2016. Disponível em:<<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarDownloads&categoria.id=3>>. Acesso em: 22 de maio 2020.



AMBEV. Atitudes sustentáveis e economia. Disponível em: <https://www.ambev.com.br/sustentabilidade/residuo-zero-e-clima/>. Acesso em: 22 de maio 2020.

AMMALA, A., BELL, C., DEAN, K., Poly(ethylene terephthalate) Clay Nanocomposites: improved dispersion based on an aqueous ionomer, **Composites Science and Technology**, v. 68, n. 6, p.1328-1337, 2008.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Portaria nº 987, de 08 de dezembro de 1998. Disponível em <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/390453/PORTARIA+N%C2%BA+987%2C+DE+08+DE+DEZEMBRO+1998+-+PET+multicamada.pdf/3dc0c3f0-6168-42e5-b107-edaa5b170295>.

Acesso em: 22/05/2020.

ARAÚJO, M. C. B., COSTA, M. F. Visual diagnosis of solid waste contamination of a tourist beach: Pernambuco, Brazil. **Waste Management**, v. 27, n. 6, p. 833–839, 2007.

AWAJA, F., PAVEL, D. Statistical models for optimisation of properties of bottles produced using blends of reactive extruded recycled PET and virgin PET. **European Polymer Journal**, v. 41, n.9, p. 2097–2106, 2005.

BANACH, T.E.; BERTI, C.; COLONNA, M.; MARIANUCCI, E.; MESSORI, M.; PILATTI. New catalysts for poly(butylene terephthalate) synthesis 1. Titanium-lanthanides and titanium-hafnium systems. **Polymer**, v.42, p.7511-7516, 2001.

BENITEZ, S. O., VEJA, C. A., BARRETO, E. R. Formal and informal recovery of recyclables in Mexicali, Mexico: handling alternatives. **Resources, Conservation & Recycling**, v.34, p.273–288, 2002.

BESEN, G. R., RIBEIRO, H., GÜNTHER, W. M. R., JACOBI, P. R., Coleta seletiva na região metropolitana de são paulo: impactos da política nacional de resíduos sólidos. **Ambiente & Sociedade**, v. XVII, n. 3, p. 259-278, 2014.

BIMESTRE, B. H., SARON, C., Recuperação de Propriedades de Rejeitos de PET por meio de Extrusão Reativa com Extensores de Cadeia. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 15, n. 5, p. 252-260, 2014.

BORTOLETO, A. P., HANAKI, K. Report: citizen participation as a part of integrated solid waste management: Porto Alegre case. **Waste Management Research**, v. 25, n.3, p. 276-282, 2007.

CALIXTO, B. 85% dos brasileiros não têm acesso à coleta seletiva, mostra estudo. 2016. Disponível em: <https://mundosustentavel.com.br/85-dos-brasileiros-nao-tem-acesso-a-coleta-seletiva-mostra-estudo/>. Acesso em: 26 de maio 2020.

CANEVAROLO JR, S.V. Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2ª ed., São Paulo: Artliber, 2006.

CANEVAROLO JR, S.V. Técnicas de caracterização de polímeros. 3ª ed., São Paulo: Artliber, 2004.

CARMO, M. S., OLIVEIRA, J. A. P. The Semantics of Garbage and the organization of the recyclers: Implementation challenges for establishing recycling cooperatives in the city of Rio de Janeiro, Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 12, p. 1261–1268, 2010.

CHEN, C. H., CHEN, C. Y., LO, Y. W., MAO C. F., LIAO, W.T., Studies of glycolysis of poly(ethylene terephthalate) recycled from postconsumer soft-drink bottles. II. Factorial experimental design. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 80, n.7, p. 956–96, 2001.

CRUZ, A. L. M. - A reciclagem dos resíduos sólidos urbanos: um estudo de caso. 2003. 157f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2003.

CRUZ, S. A., OLIVEIRA, E. C., OLIVEIRA, F. C. S., GARCIA, P. S., KANEKO, M. L. Q. A. Polímeros reciclados para contato com alimentos. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 21, n. 4, p. 340-345, 2011.

DE PAOLI, Marco A. Degradação e estabilização de polímeros. 1. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2008.

DI SOUZA, L.; TORRES, M. C. M.; FILHO, A. C. R. Despolimerização do poli(tereftalato de etileno) - PET: efeitos de tensoativos e excesso de solução alcalina. **Polímeros**, v. 18, n. 4, p.334-341, 2008.

DIMITROV, N.; KREHULA, L. K.; SIRICIC, A.P.; MURGIC, Z.H. Analysis of recycled PET bottles products by pyrolysis-gas chromatography. **Polymer Degradation and Stability**, v. 98, p. 972-979, 2013.

ECHEVARRÍA, G.G.; EGUIZÁBAL, J.I.; NAZÁBAL, J. Interfacial tension as a parameter to characterize the miscibility level of polymer blends. **Polymer Testing**, v. 19, p. 849-854,1999.

EZEAH, C., FAZAKERLEY, A.J., ROBERTS, L.C. Emerging trends in informal sector recycling in developing and transition countries. **Waste Management**, v. 33, p. 2509–2519, 2013.

FEHR, M., CASTRO, M. S. M. V., CALÇADO, M. D. R. A practical solution to the problem of household waste management in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 30, n. 3, p. 245–57, 2000.

FORLIN, F. J.; FARIA, J. Considerações sobre a reciclagem de embalagens plásticas. **Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.12, n. 1, p. 1-10, 2002.

FORMIGONI, A., CAMPOS, A, PÉRSIO, I. Reciclagem de PET no Brasil. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, Rio de Janeiro, 2012.

FREIRE, M.T.A., REYES, F. G. R. A importância do polietileno tereftalato (PET) na indústria de embalagens para alimentos. **Boletim SBCTA**, v. 31, n. 12, p. 129-136, 1997.

GAO Q, NAN-XUN H, ZHI-LIAN T, GERKING L. Modeling of solid state polycondensation of poly (ethylene terephthalate). **Chemical Engineering Science**, v.52, n.3, p.371–376, 1997.

GONÇALVES-DIAS, S. L. F., TEODÓSIO, A. S. S. Estrutura da Cadeia Reversa: “Caminhos” e “Descaminhos” da Embalagem PET. **Produção**, v. 16, n. 3, p. 429-441, Set./Dez. 2006

GONTIJO, F. E. K, DIAS, A. M. P., WERNER, J. A logística reversa de ciclo fechado para embalagens PET. In: VI Congresso Nacional de Excelência em Gestão Energia, Inovação, Tecnologia e Complexidade para a Gestão Sustentável, 2010, Niterói, RJ, Brasil. p.1-16.

GORNI, A. A. Dossiê PET, um breve resumo sobre esta versátil resina. **Revista plástico industrial**, p.48-61, 2000.

HELLER, L. CATAPRETA, C. A. A. Solid waste disposal in urban areas and health—the case of Belo Horizonte, Brazil. **Waste Management Research**, v. 26, n. 6, p. 549-556. 2003.

KARAYANNIDIS, G. P., ACHILIAS, D. S. Chemical recycling of poly(ethylene terephthalate). **Macromolecular Materials and Engineering**, v. 292, n. 2, p. 128-146. 2007.

KARAYANNIDIS, G. P., PSALIDA, E. A. Chain extension of recycled poly(ethylene terephthalate) with 2,2-(1,4-phenylene)bis(2-oxazoline). **Journal of Applied Polymer Science**, v. 77, n.10, p. 2206–2211, 2000.

LAI, M. C., CHANG, K. C., HUANG, W. C., HSU, S. C., YEH, J. M. Effect of swelling agent on the physical properties of PET–clay nanocomposite materials prepared from melt intercalation approach, **Journal of Physics and Chemistry of Solids**, v. 69, n.5-6, p. 1371-1374, 2008.

LEITE, I. F., MALTA, O. L., RAPOSO, C. M. O., CANEDO, L. E., CARVALHO, L. H., SILVA, S.A M. L., Efeito de Diferentes Tipos de Argilas e Modificadores Orgânicos na Morfologia e Propriedades Térmicas dos Nanocompósitos de PET, **Polímeros**, v 21, n. 3, p. 195-203, 2011.

LINO, F. A. M., BIZZO, W. A., SILVA, E. P., ISMAIL, K. A. R. Energy impact of waste recyclable in a Brazilian metropolitan. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 11, 916-922, 2010.

LIU, R. Y. F., HU, Y. S., SCHIRALDI D. A., HILTNER A., Baer E. Crystallinity and oxygen transport properties of PET bottle walls. **Journal of applied polymer science**, v. 94, n. 2, p. 671-677, 2004.

LUCAS, E.F., SOARES, B.G., MONTEIRO, E. Caracterização de polímeros: determinação de peso molecular e análise térmica. 1ª ed., Rio de Janeiro: Editora E-papers, 2001.

MANCINI, S. D. A garrafa de Pet 100% reciclada. 2013. Jornal Cruzeiro do Sul. Disponível em: <https://www2.jornalcruzeiro.com.br/materia/495904/a-garrafa-de-pet-100-reciclada>. Acesso em: 17 de maio de 2020.

MANCINI, S. D., BEZERRA, M. N., ZANIN, M. Reciclagem de PET advindo de garrafas de refrigerante pós-consumo. **Polímeros: ciência e tecnologia**, v. 8, n. 2, 1998.

MANCINI, S. D., NOGUEIRA, A. R., KAGOHARA, D. A., SCHWARTZMAN, J. A. S., MATTOS, T. Recycling potential of urban solid waste destined for sanitary landfills: the case of Indaiatuba, SP, Brazil. **Waste Management and Research**, v. 25, n. 6, p. 517-523, 2007.

MANCINI, S. D.; ZANIN, M. Influência de Meios Reacionais na Hidrólise de PET Pós-Consumo. **Polímeros**, v. 12, n. 1, p.34-40, 2002.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. Introdução a Polímeros. 2ª ed., Rio de Janeiro: Edgar Blücher, 1999.

MANO, E.B. Polímeros como materiais de engenharia. 1ª ed., São Paulo: Edgard Blucher, 1991.

MATOS, M. C. C. Revisão sobre o Poli (tereftalato de etileno), com ênfase na aplicação em garrafas para bebidas. 2015. 63f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) – Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Campo Grande, RJ, 2015.

MAURICIO, M. R., MANSO, F.C.G., KUNITA, M. H., VELASCO, D. S., BENTO, A. C., MUNIZ, E. C., CARVALHO, G. M., RUBIRA, A. F., Synthesis and characterization of ZnO/PET composite using supercritical carbon dioxide impregnation technology. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 42, n. 7, p. 757-761, 2011.

MERI, R. M., ZICANS, J., MAKSIMOV, R., IVANOVA, T., KALPINS, M., BERZINA, R., JAPINS, G. Elasticity and long-term behavior of recycled polyethylene terephthalate (rPET)/montmorillonite (MMT) composites, **Composite Structures**, v. 111, n., p.453-458, 2014.

PACHECO, E. B. A. V., RONCHETTI, L. M., MASANEL, E. An overview of plastic recycling in Rio de Janeiro. **Resources, Conservation and Recycling**, v.60, p. 140–146, 2012.

REBOUÇAS FILHO, P. J.; SOUSA, J. J. B.; ALVES, D. F. Reciclagem e sustentabilidade: a experiência do projeto PREVIL. **Revista Ciências em Extensão**, v.13, n.2, p.20-33, 2017.

REVISTA EXAME. A estreia do PET verde. 2012. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/revista-exame/edicoes/1029/noticias/a-estreia-do-pet-verde>. Acesso em: 19 de fevereiro de 2015.

ROMÃO, W., FRANCO, M.F., BUENO, M.I.M.S., EBERLIN, M.N., DE PAOLI, M.A. Analysing metals in bottle-grade poly(ethylene terephthalate) by X-ray fluorescence spectrometry. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 117, p. 2993-3000, 2010.

ROMÃO, W.; SPINACÉ, M.A.S.; DE PAOLI, M.A. Poli (tereftalato deetileno), PET: Uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v.19, p.121–132, 2009.

SANTOS, A. S. F.; AGNELLI, J. A. M; MANRICH, S. Tendências e desafios da reciclagem de embalagens plásticas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 14, n.5, p. 307-312, 2004.

SEMBIRING, E. NITIVATTANANON, V. Sustainable solid waste management toward an inclusive society: integration of the informal sector. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 11, 802–9, 2010

SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005.

THE COCA-COLA COMPANY. What if plastic never became waste?. 2019. Disponível em: <https://www.coca-colacompany.com/news/what-if-plastic-never-became-waste>. Acesso em: 26 de maio de 2020.

TRIGUEIRO, A. Lixo Zero – a reciclagem que reduz o lixo em até 90%. 2018. Disponível em: <https://mundosustentavel.com.br/lixo-zero-a-reciclagem-que-reduz-o-lixo-em-ate-90/>. Acesso em: 26 de maio 2020.

VILAPLANA, F. and KARLSSON, S. Quality Concepts for the Improved Use of recycled polymeric materials: A Review. **Macromolecular Materials and Engineering**, v. 293, p.274–297, 2008.

WELLE F. Twenty years of PET bottle to bottle recycling—An overview. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, p.865– 875, 2011.

WELLE, F. Is PET bottle-to-bottle recycling safe? Evaluation of post-consumer recycling processes according to the EFSA guidelines. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 73, p. 41– 45, 2013.

WIEBECK, H. - Reciclagem do plástico e suas aplicações industriais. São Paulo:USP / Sebrae São Paulo,1997.