

VIAS DE RECICLAGEM DOS POLÍMEROS POLIPROPILENO (PP) E POLIESTIRENO (PS): UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

Ana C. da Silva Rodrigues^{1*}, Jefferson F. Mendes Moreira², Luiz Brito de Souza Filho³,
Valéria D. Barros Nunes⁴

1) Universidade Estadual do Piauí –UESPI, Piauí, Brasil. Campus Professor Antônio Giovanne Alves de Sousa, Piripiri, Piauí, Brasil. Correio electrónico: aninha.rodriguez27@gmail.com

2) Universidade Federal do Piauí –UFPI, Piauí, Brasil. Campus Ministro Petrônio Portela

3) Instituto Federal do Tocantins –IFTO, Tocantins, Brasil. Campus Araguaína

4) Universidade Estadual do Piauí –UESPI, Piauí, Brasil. Campus Professor Antônio Giovanne Alves de Sousa, Piripiri, Piauí, Brasil

Recibido: Octubre 2016; Aceptado: Abril 2017

ABSTRACT

O aumento do consumo de polímeros sintéticos, tem se tornado uma das questões mais debatidas nos últimos tempos quando se trata da degradação, disposição final de seus resíduos e do seu gerenciamento adequado. Nesse contexto a reciclagem surge como a alternativa que mais se adequa no sentido de promover uma destinação correta para embalagens desses materiais. Deste modo, o objetivo do presente trabalho foi descrever as vias de reciclagem de polímeros polipropileno (PP) e poliestireno (PS) através de uma revisão bibliográfica. Observou-se que existem diferentes maneiras de reciclagem para o PP e PS, as quais se adequam de acordo com as propriedades de cada um, podendo criar um ciclo de reaproveitamento não só para o PP e PS, mas também para todos os polímeros pertencentes à classe dos sintéticos. Contudo, a importância da reciclagem está associada a muitas vantagens que vão desde a preservação de recursos naturais, redução de custos e de energia, geração de emprego e renda, até a proteção ambiental.

Palavras-Chave: Polímeros sintéticos, Polipropileno, Poliestireno, Resíduos, Reciclagem.

ABSTRACT

The increased consumption of synthetic polymers has become one of the most debated issues in recent times when it comes to degradation, disposal of their waste and its proper management. In this context recycling emerges as the alternative that best suits to promote proper disposal of these packaging materials. Thus, the objective of this study was to describe the polypropylene polymers recycling routes (PP) and polystyrene (PS) through a literature review. It was observed that there are different ways of recycling PP and PS, which is suitable according to the properties of each, can create a reuse cycle not only for PP and PS, but also to all polymers belonging to class of synthetic. However, the importance of recycling is associated with many advantages ranging from the preservation of natural resources, reducing costs and energy, generation of employment and income, to environmental protection.

Keywords: Synthetic polymers, Polypropylene, Polystyrene, Waste, Recycling.

INTRODUÇÃO

Na atualidade, uma das maiores preocupações da sociedade é a questão da utilização de resíduos e o seu gerenciamento. A poluição ambiental é algo alarmante, especialmente em relação aos resíduos produzidos por indústrias de grande porte. A evolução tecnológica e a praticidade da vida moderna têm contribuído para essa realidade. Nesse cenário, os materiais plásticos são considerados os principais agressores do meio ambiente, pois a demanda de artefatos poliméricos vem crescendo consideravelmente desde as décadas passadas até os dias atuais. Isso pode ser atribuído ao baixo custo, à excelente versatilidade de aplicações e ao desempenho. No entanto, como os materiais poliméricos não se decompõem facilmente, a deposição desses resíduos constitui um sério problema ambiental [1].

A indústria de polímeros sempre está em constante crescimento, devido o surgimento de novas tecnologias que atendem demandas de produção cada vez maiores. A pesar das grandes

facilidades que os plásticos trazem para a sociedade, o grande volume desses materiais, a enorme quantidade de resíduos pós-consumo e o descarte incorreto de resíduos, que não são biodegradáveis, são problemas a serem citados com relação a esses materiais. Além do mais os plásticos podem causar danos à saúde dos seres humanos e animais, devido principalmente aos aditivos químicos utilizados na sua fabricação [2].

Devido à sua alta resistência e durabilidade, os materiais poliméricos podem levar anos para se degradar no meio ambiente, contribuindo diretamente para o aumento de sólidos urbanos e sua crescente poluição. Pensando nisso pesquisadores do mundo todo apontaram a reciclagem como melhor alternativa para diminuir este acúmulo, tendo em vista fatores como a preservação de matéria prima virgem, qualidade dos produtos formados, baixo custo de produção e a possível geração de emprego e renda [3–5].

Segundo *Spinacé e de Paoli* [4], a reciclagem de polímeros é uma alternativa viável para minimizar o impacto ambiental causado pela disposição destes materiais em aterros sanitários. Este tema vem se tornando cada vez mais importante, pois além dos interesses ambientais e econômicos, começam a surgir legislações cada vez mais rígidas no sentido de minimizar e/ou disciplinar o descarte dos resíduos sólidos. É importante ressaltar que a reciclagem de polímeros, bem como o método de reciclagem a ser empregado, depende de vários fatores, como a quantidade e a qualidade do material, o custo do material e do processamento, a existência de mercado para o produto final e a coleta seletiva dos resíduos, uma vez que facilita a separação prévia dos polímeros diminuindo os custos e aumentando a eficiência da reciclagem.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é demonstrar as vias de reciclagem para os polímeros sintéticos, polipropileno (PP) e poliestireno (PS) por meio de uma revisão bibliográfica.

MÉTODOS

Em um primeiro momento realizou-se uma pesquisa bibliográfica para fundamentar os conceitos a cerca das propriedades dos polímeros e processos de polimerização, em seguida a descrição das vias de reciclagem para cada um dos polímeros, como alternativa para minimizar o seu acúmulo no meio ambiente, dispondo de recursos presentes na literatura como, livros, artigos, sites e revistas que manifestam opiniões e estudos de diferentes autores dentro deste contexto. No entanto, não se propõe ilustrar novas medidas que venham a extinguir o problema citado, e sim consolidar o que já existe na literatura. Deste modo, serão discutidas informações relevantes e relativas às propriedades e reaproveitamento dos polímeros sintéticos PP e PS, que se apresentam como os mais utilizados no Brasil contribuindo com o que há de mais recente sobre o assunto [4].

POLÍMEROS

A palavra polímero origina-se do grego poli (muitos) e mero (unidade de repetição). Assim, um polímero é uma macromolécula composta por muitas (dezenas de milhares) unidades de

repetição denominadas mero, ligados por ligação covalente. Os polímeros podem ser naturais ou sintéticos. Os naturais são aqueles que já existem normalmente na natureza, como a borracha natural, a celulose, o amido, as proteínas e os ácidos nucléicos. Já os sintéticos são compostos orgânicos produzidos pelo homem através de reações de polimerização de moléculas simples, como por exemplo, o Nylon, Poli(cloreto de vinila) (PVC), o vidro acrílico, etc. Quanto ao comportamento térmico, os polímeros podem ser classificados em termoplásticos, termofixos, e elastômeros ou borrachas. De início, tanto os termoplásticos quanto os termofixos podem ser submetidos ao calor para serem conformados, entretanto apenas os termoplásticos podem ser reciclados. Os termofixos não podem ser reciclados por conta da sua configuração molecular [5]. A Tabela 1 mostra a classificação dos polímeros em termoplásticos e termofixos de acordo com *Guimarães et al.* [6].

Tabla 1. Classificação dos polímeros de acordo com o comportamento térmico [6].

Classificação	Tipos de polímeros	Sigla (IUPAC)
Termoplásticos	Polietileno	PE
	Polipropileno	PP
	Poliestireno	PS
	Poliestireno de alto impacto	PSAI
	Copolímero (estireno-acrilonitrila)	SAN
	Copolímero (etileno-acetato de vinila)	EVA
	Poli(cloreto de vinila)	PVC
	Poli(acetato de vinila)	PVAc
	Poli(cloreto de vinilideno)	PVDC
	Poli(metacrilato de metila)	PMMA
Termofixos	Epóxi	ER
	Fenol-formaldeído	PR
	Ureia-formaldeído	UR
	Melanina-formaldeído	MIR
	Poliuretano	PU

Os polímeros sintéticos apresentaram-se como uma inovação tecnológica e que seu uso se expandiu em múltiplas aplicações, tais como, embalagens, tubos de encanamento, próteses, utensílios domésticos, pneus, peças automotivas, tintas entre outros. Essas aplicações se devem às suas propriedades de leveza, resistência química e mecânica, além de custo relativamente baixo [7].

Existe uma grande variedade de termoplásticos espalhados pelo mundo, entretanto, apenas cinco deles representam cerca de 90% do consumo nacional [4], que por sua vez estão ilustrados na Tabela 2.

Polipropileno. O polipropileno é um polímero termoplástico da classe das poliolefinas, que foi descoberto em 1954. É considerado de fácil processamento, tendo em vista o custo relativamente baixo quando comparado com outros polímeros, além de ser essencialmente linear. O grau de cristalinidade do PP é obtido pela tacticidade, ou seja, regularidade na posição de grupos laterais de suas cadeias, por suas configurações estereoquímicas podendo ser encontrado em três tipos de estruturas configuracionais: isotático, sindiotático e atático, [8], como mostra a Figura 1.

Tabela 2. Os cinco principais polímeros e suas estruturas químicas.

Principais polímeros		
POLÍMERO	NOMENCLATURA	ESTRUCTURA
PET	Polietileno tereftalato	
PP	Polipropileno	
PS	Poliestireno	
PE	Polietileno	
PVC	Poli(cloreto de vinila)	

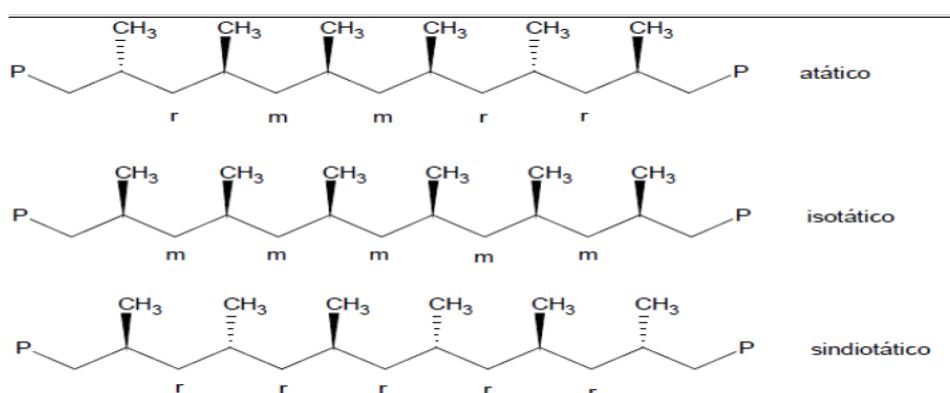


Figura 1. Formas isoméricas configuracionais do polipropileno, onde r e m = $-CH_3$ [9].

PP atáxico: é um material amorfó (não cristalino) dúctil, com pouca ou nenhuma resistência mecânica.

PP sindiotáxico: é de fácil cristalização, porém difícil de ser encontrado, devida a relativa facilidade de formação do polímero isotáxico, em polimerizações estereoespecíficas. O PP

sindiotáctico é um polímero cristalino, com densidade e temperatura de fusão (aproximadamente 20°C) menor que o polipropileno isotáctico, além de ser mais solúvel em hidrocarbonetos.

PP isotáctico: tem maior interesse prático por ser cristalino, apresentar alto ponto de fusão, ser rígido e insolúvel a temperatura ambiente, tendo boa solubilidade acima de 80°C em solventes como xileno, decalina e outros hidrocarbonetos [10].

No entanto, o PP é semicristalino apresentando ambas as fases, amorfia e cristalina, sendo a porcentagem de cada fase dependente do arranjo estrutural das cadeias poliméricas e das condições em que a resina é transformada no produto final [8]. O Processo de polimerização do PP se dá pela união de sucessivas moléculas de propileno, o seu monômero inicial como mostrado na Figura 2.

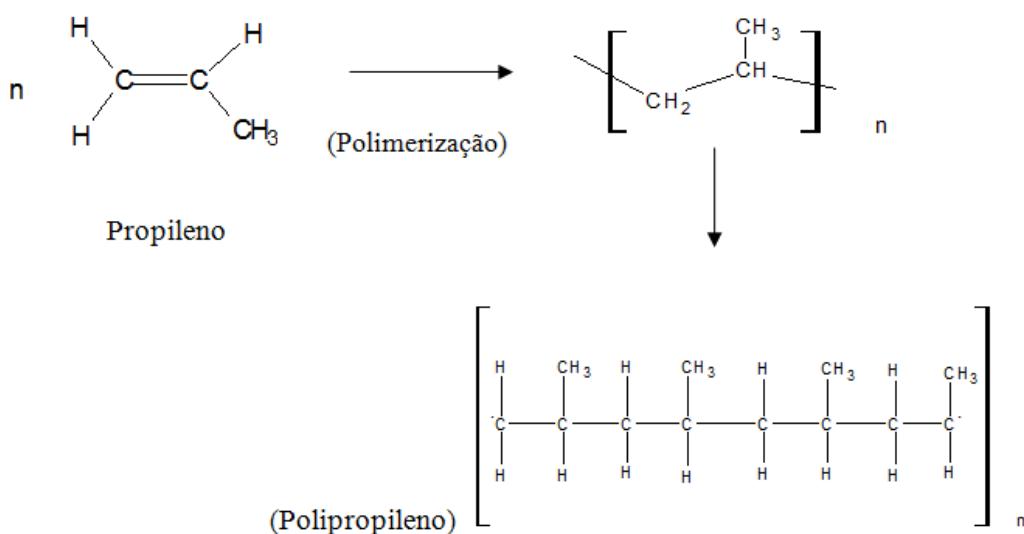


Figura 2. Reação de polimerização do PP.

Graças à excelente combinação de propriedades térmicas e mecânicas o PP é amplamente explorado numa variedade de aplicações que, combinada com condições favoráveis econômicas, encorajou uma rápida expansão no uso deste material. O PP pode ser modificado para uma variedade de aplicações, por meio de copolimerização, orientação e outras técnicas. As características físicas do polímero podem ser variadas para conseguir uma larga faixa de propriedades térmicas e mecânicas. A facilidade no processamento desse polímero permite o seu uso na maioria das técnicas de fabricação comerciais[8].

Além de ter ponto de fusão superior ao da maioria das poliolefinas, em razão da maior rigidez estrutural ocasionada pela rotação do grupo lateral metil, o PP também é considerado biologicamente resistente a microorganismos, uma vez que não sofre ataques biológicos,e não causa reações fisiológicas. Desta forma, pode ser utilizado em fins terapêuticos, como por exemplo, em suturas [11].Na Tabela 3 são apresentadas outras propriedades físicas do polipropileno.

Tabela 3. Propriedades do polipropileno.

<i>Propriedades</i>	<i>Valores</i>	<i>Unidades</i>
Densidade	0,90	g/cm ³
Massa molar	80.000 e 500.000	g/moL ⁻¹
Índice de refração	1,49	
Temperatura de transição vítreia (T _g)	4–12	°C
Temperatura de fusão (T _m)	165–175	°C

Fonte: Adaptado [12].

O PP é altamente resistente a substâncias químicas. É, porém atacado por agentes oxidantes como ácido sulfúrico concentrado e ácido nítrico fumegante. Ele é solubilizado em solventes alifáticos de alto ponto de ebulação e hidrocarbonetos aromáticos em altas temperaturas [8]. O PP é de grande uso industrial e pode ser conformado segundo as principais técnicas de processamento, como mostrado na Figura 3.

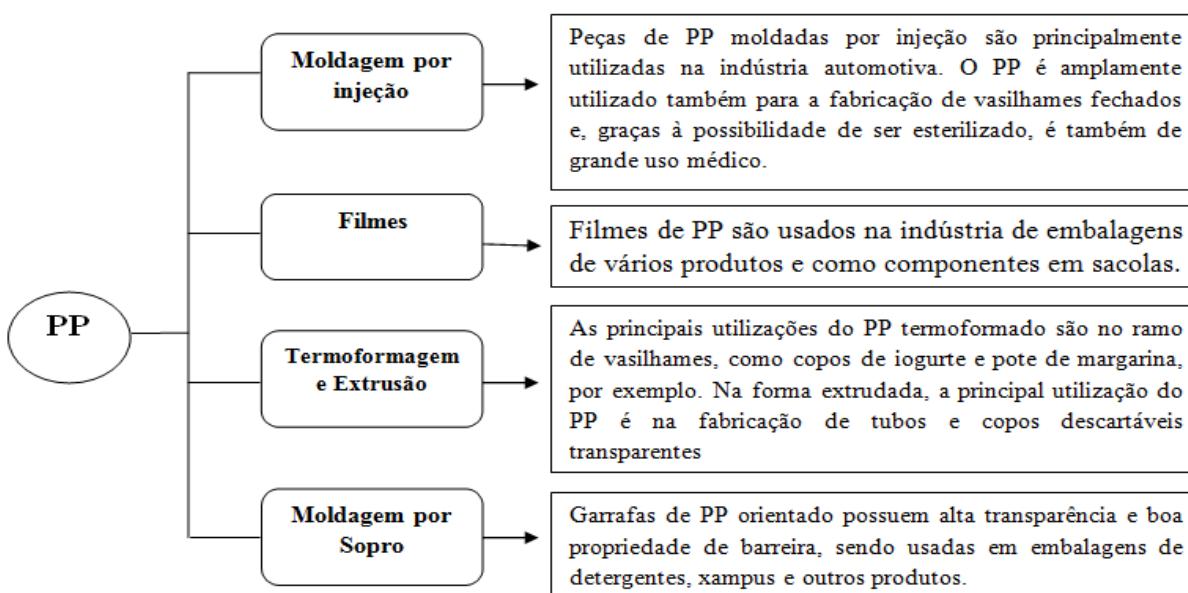


Figura 3. Formas de processamento para o PP. Fonte: Adaptado [8].

O PP virgem é amplamente explorado, mas o aumento do custo das resinas plásticas, pressionado pelas constantes flutuações do preço do petróleo no mercado internacional, e o acúmulo de sólidos urbanos ocasionados pelo seu descarte inadequado tem estimulado as pesquisas em reciclagem deste polímero. Normalmente, o preço do plástico reciclado é 40% mais baixo do que o da resina virgem [13].

Poliestireno. O estireno é um monômero obtido a partir do petróleo, encontrando-se também

presente em plantas e frutos. A reação química de polimerização dá origem a uma macromolécula, o poliestireno (PS). O estireno foi descoberto pelo farmacêutico alemão *Johann Eduard Simon* em 1839, quando este o destilou a partir de uma resina vegetal. Só mais tarde, em 1920, um químico alemão percebeu que o polímero era constituído por um aglomerado de cadeias longas de estireno, de elevada massa molar, que designou por poliestireno. Este polímero foi então fabricado pela primeira vez na Alemanha, em 1930, pela *Badische Anilin & Soda Fabrik – Fábrica de Anilina e Soda de Baden (BASF)*[14]. O poliestireno (PS) é o pioneiro entre os termoplásticos. Sua polimerização se dá através da união de sucessivas moléculas de seu monômero inicial (estireno) como mostrado na Figura 4 [15].

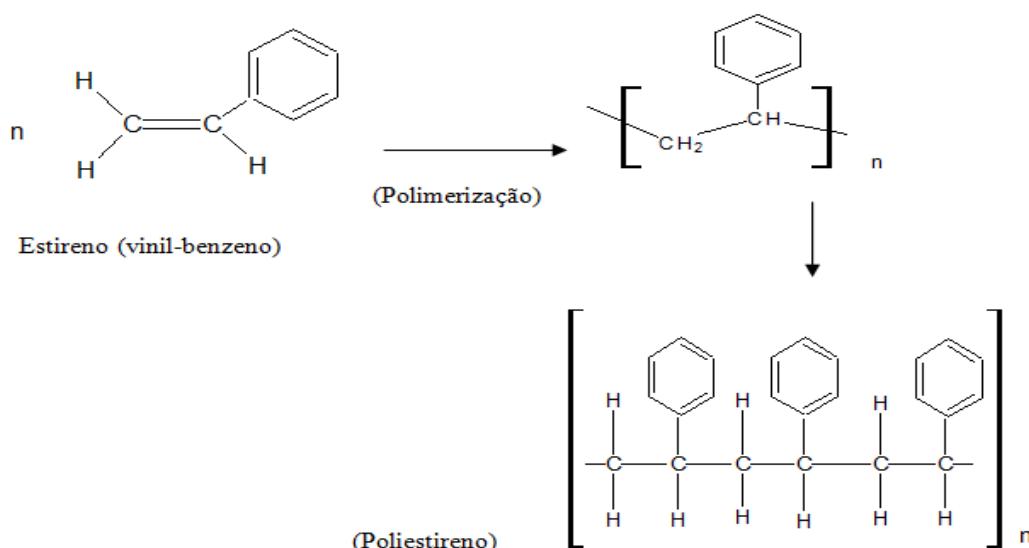


Figura 4. Reação de polimerização do PS. Fonte: Autor.

O Poliestireno apresenta-se sob várias formas como:

- Resina cristal ou standard, de uso geral, cujas características principais são a transparência e a fácil coloração. Os maiores usos são para embalagens (principalmente copos e potes para indústria alimentícia), copos descartáveis e caixas de CD's /fitas cassete;
- O poliestireno expandido ou EPS (mais conhecido no Brasil pela marca comercial *Isopor®*, da BASF), que é uma espuma rígida obtida através da expansão da resina PS durante sua polimerização por meio de um agente químico. É utilizado, basicamente, como embalagem protetora e isolante térmico.
- O poliestireno de alto impacto (HIPS) que é um PS modificado com elastômeros de polibutadieno. Alguns "grades" desta resina podem competir com alguns plásticos de engenharia, como o ABS (acrilonitrila butadieno estireno), por exemplo, no segmento de vídeo cassete e componentes de refrigeradores e televisores [16].

Assim como o polipropileno, o poliestireno também pode ser produzido com distintas regularidades conformacionais: atático, isotático e sindiotáctico. Nos materiais isotáctico e sindiotáctico, os grupos fenil estão distribuídos de forma regular através da cadeia polimérica de modo que tais materiais são cristalizáveis. Por outro lado, no caso do PS atático a regularidade é praticamente inexistente e o polímero é predominantemente amorfo [8].

Suas propriedades podem ser resumidas e avaliadas qualitativamente como: excelente em aplicações elétricas e óticas, boa estabilidade térmica e dimensional, alta temperatura de transição vítreia, baixo teor de absorção de umidade, alto módulo de elasticidade, transparência, facilidade de processamento, além de ter um aspecto brilhante e caracterizar-se por se amorfos, incolor e inodoro, dependendo da sua forma. A facilidade de produção e processamento ocasionados pelo seu baixo custo constituem outras vantagens deste polímero [17]. Na Tabela 3 são apresentadas outras propriedades físicas do poliestireno.

Tabela 3. Propriedades do poliestireno [18].

Propiedades	Valores	Unidades
Densidade	1,04	g/cm ³
Constante dielétrica	2,5	K
Conduтивidade eléctrica	10 ⁻¹⁶	S/m
Conduatividade térmica	0,08	W/(m.K)
Resistência a tração	46–60	MPa
Temperatura de transição vítreia	95	°C
Ponto de fusão	240	°C

O poliestireno apresenta também algumas limitações, tais como a resistência limitada às radiações, ponto de amolecimento aproximadamente de 90°C, degradação a temperaturas superiores a 150°C, e o fato de não ser biodegradável. Além disso, apesar da sua rigidez, este polímero torna-se quebradiço quando é sujeito a um longo período de armazenamento. A redução destas limitações, bem como a otimização de algumas vantagens, podem ser conseguidas através da modificação deste polímero por copolimerização, ou seja, a polimerização através de um ou mais monômeros diferentes [14].

O poliestireno é um dos principais constituintes de embalagens alimentares. Nos países mais desenvolvidos e industrializados estas representam 60% das embalagens produzidas. De fato, o baixo preço e as boas propriedades estruturais do poliestireno tornam este polímero um plástico ideal para produtos descartáveis de curta duração [19].

Blendas poliméricas. A ampliação da faixa de aplicação dos materiais poliméricos é possível pela síntese de novos polímeros (com estrutura química diferenciada) e pela modificação de polímeros já existentes. Neste último caso, têm-se como exemplos os copolímeros, os compósitos,

a mistura de polímeros (blendas) e, principalmente, os aditivos [20]. A mistura física de polímeros, mais conhecidamente como blendas poliméricas, é uma das estratégias de desenvolvimento de novos materiais com propriedades diferentes daquelas dos polímeros puros, além de apresentar baixo custo, quando comparado à síntese de novos polímeros [21].

Blendas poliméricas são a mistura física de dois ou mais polímeros visando à melhoria de suas propriedades de maneira geral, podendo também afetar as propriedades reológicas. Permite combinar as propriedades desejáveis de cada componente da mistura [22]. Não ocorrem reações químicas entre os componentes e a interação molecular entre as cadeias poliméricas é predominantemente do tipo secundária.

Durante as duas últimas décadas, o estudo de propriedades mecânicas de blendas de plásticos teve atenção especial em razão de dois aspectos principais: a combinação de diferentes propriedades de polímeros distintos criarem novos produtos com propriedades melhoradas e, no caso da reciclagem de plásticos, a utilização de blendas físicas de polímeros na redução do custo do processo ao eliminar a etapa de separação [23].

O interesse no estudo das blendas aumenta ano após ano. Os principais motivos para esse crescimento se dá pelas vantagens:

- Tecnológica: as blendas possuem a capacidade de combinar as propriedades de diferentes componentes de modo a obter excelentes propriedades mecânicas, térmicas e químicas.
- Financeira: o custo de desenvolvimento de uma blenda é menor que o custo da síntese de um novo polímero.
- Ambiental: Possibilidade de reciclagem industrial.
- Mercadológico: Possibilidade de ajuste da composição da blenda de acordo com as especificações do cliente [24].

O PP e o PS já foram misturados a vários outros polímeros de acordo com os seguintes autores:

a) *Abreu et al.* [25], avaliaram a influência do tipo e da concentração de elastômeros termoplásticos nas propriedades mecânicas e na morfologia das blendas, utilizando um homopolímero de propileno (PP-H) e um copolímero randômico de propileno–etileno (PP-R). O elastômero termoplástico aumentou a resistência ao impacto do PP, e a variação da rigidez das blendas foi dependente somente da quantidade de elastômeros termoplásticos adicionada, apresentando-se mais rígida que aquelas com igual teor de elastômero convencional.

b) *Fernandes et al.* [24], avaliaram a influência do tipo de polipropileno no comportamento da blenda polipropileno/poliestireno de alto impacto quando exposta a radiação ultravioleta, usando uma resina virgem de PP e outra reprocessada, verificando que

o PP virgem foi a resina mais afetada pela radiação e suas blendas mais sensíveis à fotodegradação em relação as que foram preparadas com uma resina previamente degradada.

c) *Silva et al.* [26], avaliaram o efeito do polímero quitosana na morfologia e propriedades térmicas e mecânicas de blendas de PP, preparadas pelo método de intercalação por fusão, verificando que a estabilidade térmica da mistura de PP/quitosana foi melhorada com a diminuição do teor de quitosana, favorecendo numa discreta melhoria em suas propriedades têñseis.

d) *Luna* [27] produziram blendas poliméricas a partir da matriz de poliestireno com resíduos de borracha reciclada visando à obtenção de aumento das propriedades mecânicas como resistência ao impacto e à flexão em comparação com o poliestireno e evidenciaram que blendas de PS/composto de borracha reciclada obtidas por meio de mistura mecânica podem ser adequadas do ponto de vista tecnológico para aplicações industriais. Além disso, o uso delas pode também proporcionar uma boa perspectiva de reaproveitamento dos rejeitos industriais e assim reduzir os efeitos nocivos sobre o meio ambiente bem como agregar valor a um produto que seria descartado.

e) *Sousa e Assis* [28] avaliaram o uso de blocos de concreto associados ao poliestireno expandido, verificando que é uma alternativa bastante promissora, principalmente por possuir características isolantes, e de certa forma tratar-se de um sistema construtivo sustentável. Deste modo, tornando evidente que o resíduo de EPS é um isolante térmico eficiente tanto do ponto de vista técnico com ambiental (menor consumo de energia e redução de resíduos), melhorando o conforto dos ambientes construídos.

Há também outra alternativa viável para o reaproveitamento de polímeros, que neste caso, é a adição de fibras naturais nesses materiais, representando uma atividade econômica em franco desenvolvimento que gera conhecimento científico e tecnológico, associado a uma atividade produtiva. A elevada disponibilidade das fibras naturais aliada à necessidade da criação de materiais oriundos de fontes renováveis abrem muitas oportunidades para avanços tecnológicos, pois além do baixo custo de produção, visa principalmente tornar mais rápida a degradação dos polímeros no meio ambiente, dando-lhes diversas aplicações ao ser reaproveitado, representando características excelentes para a química de polímeros e compósitos [29].

Vias de reciclagem para PP e PS. A reciclagem é o processo de modificação dos resíduos sólidos que envolvem a mudança de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos [30]. A reciclagem de polímeros é classificada em quatro categorias: primária, secundária, terciária e quaternária [31].

Tanto a reciclagem primária como a secundária também são conhecidas como reciclagem mecânica, o que diferencia uma da outra é que na primária utilizam-se polímeros pré-consumo e na

secundária, polímeros pós-consumo. A reciclagem terciária também é chamada de química e a quaternária chamada de energética, como mostra a Tabela 5. No Brasil a principal reciclagem utilizada é a mecânica [31].

Tabela 5. Os tipos de reciclagem e suas características.

Tipos de reciclagem		
Mecânica	Primária	Incide sobre limpo, não contaminado, único tipo de sucata de operações de aperfeiçoamento.
	Secundária	Visa à gestão por misturas de resíduos de plástico.
Química	Terciária	Tem sido definida como a clivagem de cadeias de polímeros para tomar os produtos químicos de distribuição de peso molecular mais baixo ou mesmo para recuperar o monômero inicial, que pode ser utilizado para um outro ciclo completo de polimerização.
Energética	Quaternária	Compreende a utilização de resíduos plásticos como fontes de energia.

Fonte: Adaptado [32].

A reciclagem do PP pode ser realizada por via mecânica, e a do PS por via mecânica e química [4, 33]. No processo de reciclagem mecânica pode ser viabilizado o reprocessamento por extrusão, injeção, termoformagem, moldagem por compressão e etc. Para se fazer uso da reciclagem mecânica são necessárias algumas etapas em sequência: 1) Separação do resíduo polimérico, 2) Moagem, 3) Lavagem, 4) Secagem, 5) Reprocessamento e finalmente a transformação do polímero no produto final, como mostra a Figura 5 [4].

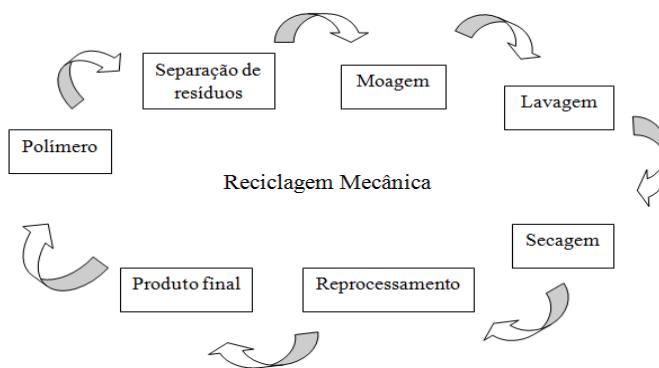


Figura 5. Esquema de reciclagem mecânica para o PP e PS. Fonte: Adaptado [4].

Na reciclagem química os processos de despolimerização acontecem por solvólise (hidrólise, alcoólise, amilose), por métodos térmicos (pirólise à baixa e alta temperatura, gaseificação,

hidrogenação) ou por métodos térmicos/catalíticos (pirólise e a utilização de catalisadores seletivos) [4], como mostrado na Figura 6.

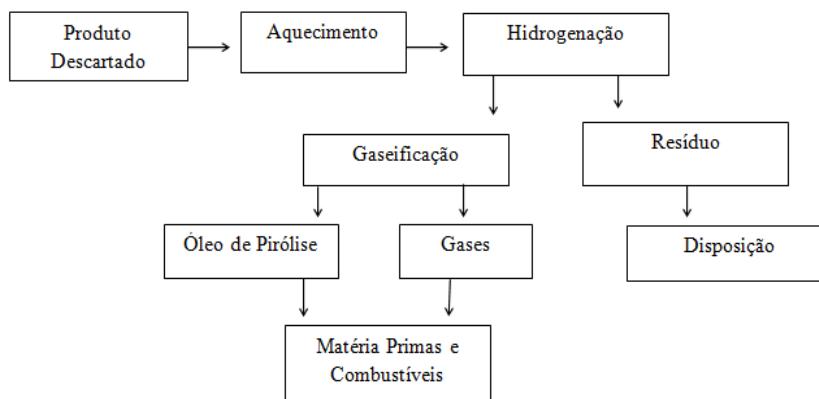


Figura 6. Esquema de representação da reciclagem química do PS [34].

A reciclagem mecânica é a mais utilizada no Brasil devido a vários fatores como: custo de mão-de-obra, baixo investimento para instalação de uma planta de reciclagem, grande volume de polímero pós-consumo, etc., ao contrário dos países da *Europa* e do *Japão* que utilizam as reciclagens química e energética, majoritariamente. No Brasil, a reciclagem mecânica vem crescendo em volume e aumentando a diversidade e qualidade dos produtos, devido à otimização dos processos [4].

No entanto, a reciclagem química tem uma maior flexibilidade sobre a composição e é mais tolerante a impurezas, ou seja, não requer uma triagem tão minuciosa. Deste modo, é mais cara e necessita de enormes quantidades de plástico para ser economicamente viável [35].

As vantagens desses tipos de reciclagem são notáveis em esferas econômicas e principalmente ambientais, como a economia de energia; a preservação de fontes esgotáveis de matéria prima virgem; a redução de custos com disposição final do resíduo; a economia com a recuperação de áreas impactadas pelo mau acondicionamento dos resíduos; o aumento da vida útil dos aterros sanitários; a redução de gastos com a limpeza e a saúde pública e a geração de emprego e renda [4].

Por outro lado, é possível citar como principais desvantagens o seu elevado custo e a falta de programas adequados suficientes para viabilizar a coleta seletiva e tratamento do lixo urbano ocasionando prejuízos à sociedade, economia e meio ambiente [36].

Existem no *Brasil* 1.029 estabelecimentos industriais dedicados à recuperação de materiais plásticos espalhados pelo Brasil, que empregam aproximadamente 9,7 mil pessoas diretamente [37]. Contudo, em 2014 cresceu em 5% o número de empresas recicladoras no país, aumentando também o número de empregos que passou de 9.640 para 10.189 mil pessoas, como mostra a Figura 7.

Dentro dessa estimativa, cerca de aproximadamente 46,7% corresponde à reciclagem do PP e 54,5% a reciclagem do PS [38].

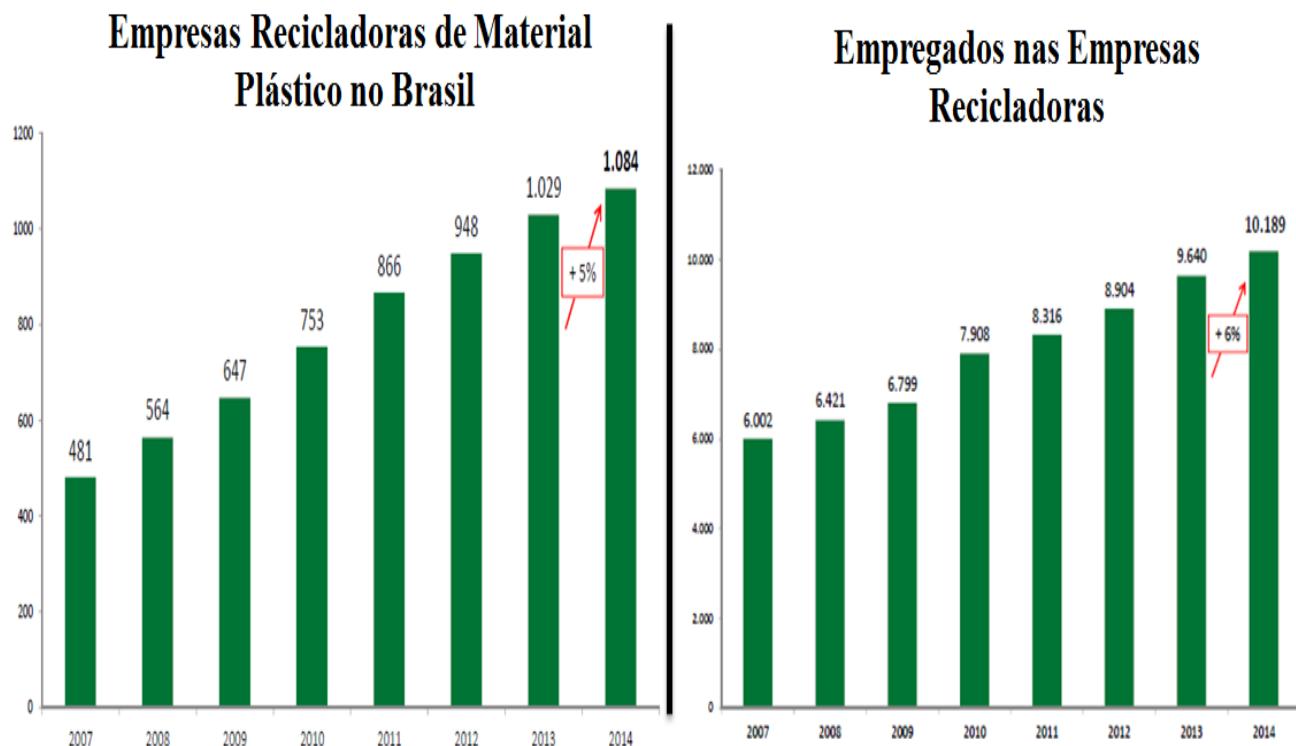


Figura 7. Empresas que reciclam plásticos no Brasil e Empregados nas empresas recicadoras [39].

Estima-se que são retirados do meio ambiente por ano, aproximadamente 805 mil toneladas de resíduos pós-consumo, que dão origem a mais de 725 mil toneladas de materiais plásticos reciclados [39]. Segundo *Spinacé e De Paoli* [4], cerca de US\$ 160 bilhões/ano é movimentado no setor da reciclagem, além de empregar 1,5 milhões de pessoas no mundo.

Com o objetivo de auxiliar na identificação dos diferentes tipos de plástico, encaminhando-os de forma correta para a reciclagem, foi estabelecido no *Brasil* pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), na Norma NBR 13.230, um sistema de codificação de produtos plásticos, que consiste em um símbolo, como é mostrado na Figura 8, [40].

O símbolo “7 – Outros” normalmente é empregado para produtos plásticos fabricados com policarbonato, ABS, poliamida, acrílicos ou uma combinação de diversas resinas e/ou materiais. Neste caso, sugere-se também o uso da sigla do polímero abaixo do símbolo [41].

As dimensões dos símbolos apresentados na norma são apenas orientativas, porém as proporções estabelecidas na norma devem ser obedecidas. Valeressaltar que as dimensões devem facilitar ao máximo a leitura do mesmo e consequente separação do material na linha de triagem [41]. Na Tabela 6, são apresentados alguns exemplos de aplicações das resinas e os respectivos produtos feitos a partir do plástico reciclado.

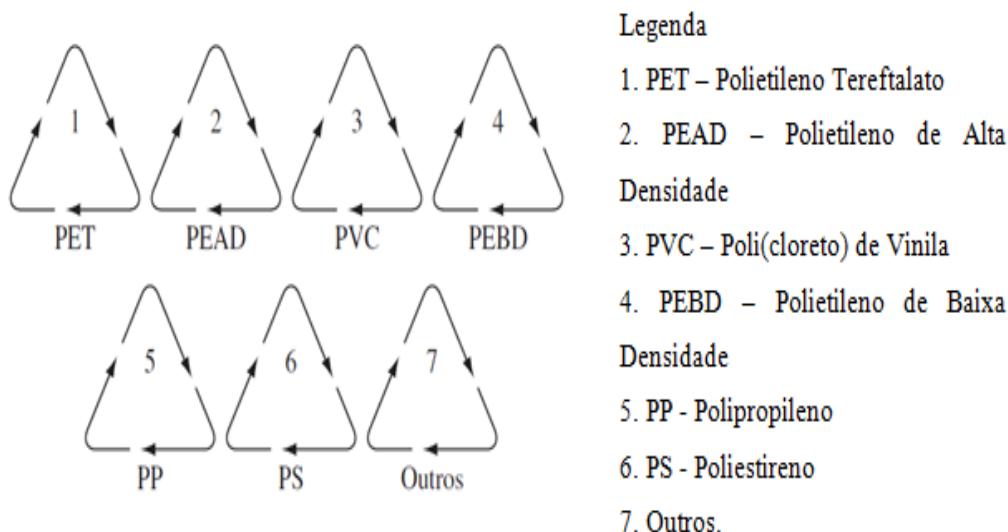


Figura 9. Símbolos de identificação dos principais plásticos predominantes no Brasil [40].

Tabela 6. Produtos confeccionados antes e após a reciclagem do PP e PS.

<i>Exemplos de aplicação e de reciclagem de resinas de (PP) e (PS)</i>		
<i>Resina</i>	<i>Aplicação</i>	<i>Reciclagem</i>
PP	Empregado em embalagem de massas alimentícias e biscoitos, potes de margarina, seringas descartáveis, equipamentos médico-cirúrgicos, fibras e fios têxteis, utilidades domésticas, autopeças, etc.	Caixas e cabos para bateria de carro, vassouras, escovas, funil para óleo, caixas, bandejas.
PS	Utilizado em copos descartáveis, placas isolantes, aparelhos de som e de TV, embalagens alimentícias, revestimento de geladeiras, material escolar, etc.	Placas para isolamento térmico, acessórios para escritório, bandejas.

Fonte: Adaptado [4, 42].

Rodrigues e Cavinatto [43], afirmam que ossaldos positivos ambientais perante os processos de reciclagem são indiscutíveis, sendo considerado um agente propulsor da preservação dos recursos naturais. A cada rejeito aproveitado se terá benefícios na economia de energia, água e extração de matéria prima natural como, por exemplo, a necessidade de “fibra de celulose” para a fabricação do papel/papelão. Além disto, os resíduos plásticos, quando descartados em lugares inadequados, causam um impacto ainda maior ao meio ambiente. Portanto, a reciclagem tem sido o “caminho” de tratamento de resíduo plástico que mais tem concentrado esforços no âmbito das estratégias empresariais e governamentais [44].

CONCLUSÃO

De acordo com o presente estudo foi possível concluir que a reciclagem dos polímeros sintéticos promove grandes ganhos para o meio ambiente independente de suas vias, seja mecânica,

química ou energética havendo um crescimento no país de forma positiva. Uma vez que os benefícios são notáveis em diferentes âmbitos, como por exemplo, na conservação de recursos naturais primários; redução de custos e da energia necessária para criar novos materiais; minimização das emissões de gases contribuintes do efeito estufa; reutilização de itens dando-lhes uma vida mais longa; aceleração da degradação desses polímeros; criação de empregos e renda em indústrias para recuperação desses materiais e sobre tudo promover a conscientização ambiental.

REFERÊNCIAS

- [1] Araújo SS "Estudo das Alternativas Tecnológicas de Reaproveitamento e Reutilização de Pneus Provenientes de Descarte". Campina Grande, PB. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Campina Grande, Brasil, 2011
- [2] These, J.; Tauchen, J. A. Análise da Tecnologia Aplicada aos Polímeros: Uma Releitura sobre Polímeros Biodegradáveis. 1ª Semana Acadêmica – Engenharia de Produção – FAHOR. 2010.
- [3] Santos, T. B.; Moura, G. J. B.; Silva, A. K. P. –Reciclagem Industrial como Agente Propulsor da Preservação dos Recursos Naturais–*R. gest. sust. ambient.*, Florianópolis, 5(1), 395 (2016)
- [4] Spinacé, M. A. S.; De Paoli, M. A.; A Tecnologia da Reciclagem de Polímeros. Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas. *Quím. Nova*, **28(1)**, 65 2005.
- [5] Canevarolo, S. V. Ciência dos Polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2ª edição ed. São Paulo: Câmara Brasileira do Livro, 2006.
- [6] Guimarães, K. L M.; Pereira, S. J.; Moreira, D. S.; Rocha, L. T. C.; Valporto, M. S.; Viégas, V. A. (2014). O Uso de Polímeros em Mobiliário: Classificação dos principais tipos para aplicações
- [7] Polímeros. Disponível em: <<http://portalsaofrancisco.com.br/alfa/polimeros/polimeros-4.php>>. Acesso em 03 jul. 2016.
- [8] Canevarolo Jr, Sebastião V “Ciência dos Polímeros: Um Texto Básico para Tecnólogos e Engenheiros”, São Paulo: Artliber Editora, 3ª ed., 2010
- [9] Rodrigues F "Principles of Polymer Systems", 2ª ed. Londres, Hemisphere Publishing Corporation, 1982
- [10] Rosa ADA "Estudo da incorporação da fibra de juta como modificador nas propriedades mecânicas do polipropileno reciclado". Dissertação de mestrado. Universidade Presbiteriana Mackenzie. Brasil. São Paulo, 2009
- [11] Rosário, F.; Pachekoski, W. M.; Silveira, A. P. J.; Santos, S. F.; Júnior, H. S. –Resíduos de Sisal como Reforço em Compósitos de Polipropileno Virgem e Reciclado– Polímeros, 2010.
- [12] Blass, A. Processamento de Polímeros, Editora da UFSC, Florianópolis, 1988.
- [13] Fernandes, B. L. E. & Domingues, A. J. – Polímeros, **17**, p.85 (2007).
- [14] Almeida, P.M.M.C., Magalhães, V.H.S., (2004) “Polímeros”, Universidade Fernando Pessoa – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Disciplina de Materiais, Porto.
- [15] Abrapex. (2000). Associação Brasileira de Poliestireno Expandido: Informações gerais. Disponível em: <www.abrapex.com.br/62Recicla02.html> Acesso em: 22 jul. 2016.
- [16] BNDES. Área de operações industriais 1–AO1. Gerência setorial do complexo químico. Poliestireno. Disponível em: <http://www.bnDES.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bnDES_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/relato/poliesti.pdf>. Acesso em: 20 Jul. 2016
- [17] Andrade, L. A. Plastics and the Environment. Ed. Anthony L. Andrade. USA. Pub. John Wiley & Sons, Inc. 2003. ISBN 0-471-09520-6.
- [18] Basf Plastic (2004), “Basf 145D – Product information”. Acedido em 23 de Julho de 2016 em: <http://208.101.52.204/bASF/145d.pdf>.
- [19] Shariq K, Funada C, (2008) “Polystyrene”, SRI Consulting. Acesso 13 jul. 2016 em:<<http://www.sriconsulting.com/CEH/Public/Reports/580.1500/>>
- [20] Rabelo, M. S., Paoli, M. A. Aditivação de Termoplásticos. São Paulo: Artliber, 2013. 357p.
- [21] Robeson, L. M. Polymer Blends: A Comprehensive Review. Ohio: Hanser, 2007. 459 p.
- [22] Koning C et al., “Strategies for Compatibilization of Polymer Blends”, *Prog. Polymer Science*, 23,707 (1998)
- [23] Ojeda, T, Morais L, Tokumoto S, Samios D, Quijada R “Blendas de polipropileno com plásticos de engenharia” en: III CBPOL – Cong. Bras. de Polím., 1, 656 (1995)
- [24] Fernandes LL, Freitas CA, Demarquette NR, Fechine GJM “Estudo do Efeito do Tipo de Polipropileno na Fotodegradação da Blenda Polipropileno /Poliestireno de Alto Impacto, *Polím.: Ciênc. e*

- Tecnol., v. 22, n. 1, p. 61–68, 2012. DOI: 10.1590/S0104-14282012005 000013em cadeiras. Gramado – RS. Blucher Designer Proceedings, 4, 2163–2170.
- [25] Abreu FOMS, Forte MMC, Liberman SA “Propriedades Mecânicas e Morfologia de Blendas de Polipropileno com TPEs”, *Polím.: Ciênc. e Tecnol.*, **16(1)**, 71 (2006)
- [26] Silva JRMB, Santos BFF, Siqueira DD, Carvalho LH, Silva SML, Leite IF “Influência do Teor de Quitosana na Morfologia e Propriedades Térmicas e Mecânicas das Misturas de Polipropileno2, *Rev. Eletr. de Materiais e Processos*, **9(3)** (2014)
- [27] Luna CBB, Silva DF, Araújo EM “Reaproveitamento dos Resíduos de Borracha em Blendas com Poliestireno. Universidade Federal de Campina Grande. Aprígio Veloso, 882, 58109–970, Campina Grande, Paraíba, Brasil. Estudos Tecnológicos em Engenharia, 10 (1): 1–9, janeiro–junho 2014 © 2014 by Unisinos – doi: 10.4013/ete. 2014.101.01
- [28] Sousa LM, Assis CD "Placas Para Alvenaria de Vedação com Uso de Espuma de Poliestireno Expandido (EPS), *Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas*, UFSM, Santa Maria. *Rev. Eletr. em Gest., Educ. e Tecnol. Ambient. REGET*. e-ISSN 2236 1170 – 18(2), 865 (2014)
- [29] Rubira AF, Silva R, Haraguchi SK, Muniz EC “Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos”, *Quím. Nova*, **32**, 661(2009)
- [30] Brasil (2010) *Decreto-Lei no 12.305*, de 2 de agosto de 2010.
- [31] Romão, W. Metodologia para Detectar a Presença do PET Reciclado em Embalagens PET para Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Química. Departamento de físico – química. Dissertação de mestrado. Campinas, 13 de março de 2009.
- [32] Aurrekoetxea, J., Sarrionandia, M. A., Urrutibeaosoa, I. –Effects of recycling on the microstructure and the mechanical properties of isotactic polypropylene – *Journal of Materials Science* 36(2001).
- [33] Jansson A, Moller K, Gevert T. Degradation of post-consumer polypropylene materials exposed to simulated recycling–mechanical properties. *Polymer Degradation and Stability*, **82**: 37–46, 2003.
- [34] PVC. Disponível em: <http://www.institutodopvc.org/reciclagem/base2.htm>. Acesso 2 Jul. 2016
- [35] Ecycle. Disponível em: <http://www.ecycle.com.br/component/content/article/35/711-plasticos-como-se-da-a-reciclagem-e-no-que-se-transformam.html>. Acesso em 20 Ago. 2016.
- [36] Engema. Disponível em: <http://engemausp.submissao.com.br/17/anais/arquivos/169.pdf>
- [37] Rais. Disponível em: <http://www.rais.gov.br/sitio/sobre.jsf> Acesso em: 20 Ago. 2016.
- [38] Plastivida. (2012). Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/> Acesso 20 Ago. 2016.
- [39] Abiplast. Seminário Firjan de ação ambiental. Repensar produção, descarte e consumo. Rio de Janeiro, 2 de Junho de 2016.
- [40] Associação Brasileira de Norma Técnicas – ABNT. Projeto de revisão NBR 13230: Simbologia Indicativa de Reciclabilidade e Identificação de Materiais Plásticos. RJ, 8p. (2006).
- [41] Coltro L, Gasparino BF, Queiroz GC "Reciclagem de Materiais Plásticos: A Importância da Identificação Correta", *Polím.: Ciênc. e Tecnol.*, **18(2)**, 119 (2008)
- [42] Epic – Environment and Plastics Industry Council. SPI Plastic Container Coding System [s.d.] 2p. Disponível em: Disponível em: <www.plastics.ca/epic>. Acesso: 11 Jul. 2016.
- [43] Rodrigues FL, Cavinnato VM "Lixo: de onde vem? Para onde vai?", São Paulo: Moderna, 2003
- [44] Dias SLFG, Teodósio ASS "Estrutura da Cadeia Reversa: Caminhos” e Descaminhos” da Embalagem PET. Produção, **16(3)**, 429 (2006)