

**ALTERNATIVA DE LOGÍSTICA REVERSA DA GARRAFA PET (2L)**

**Elyziane Borges<sup>1</sup>**  
**Diego Silvestre<sup>2</sup>**  
**Marconi França<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Grupo de Pesquisa Design Sustentável, UFCG, Campina Grande – Paraíba, Brasil,  
elyziane@live.com; diego.ssilvestre@gmail.com  
mfrancauadi@gmail.com

**Introdução**

Os resíduos gerados pela humanidade nos últimos anos tiveram um acréscimo considerável e isso se deu pelo aumento da população mundial. Atualmente o número de habitantes do planeta é de 7,2 bilhões. Estima que em 2050 a população atingirá a marca de 9 bilhões, um acréscimo de 2,1 bilhões de habitantes que corresponde a um crescimento de 0,33% ao ano (ONU, 2013).

A quantidade produzida de resíduos sólidos no planeta é de 1,4 bilhões toneladas anuais, que determina uma média de 1,2 kg por dia per capita. Os países mais desenvolvidos do mundo são responsáveis por quase a metade desse total, as instituições Organização das Nações Unidas -ONU e o Grupo Banco Mundial -WBG estimam para o ano 2024 um volume de 2,2 bilhões de toneladas anuais (WBG, 2014). Os dados fornecidos por essas instituições nos levam a entender que, no ano 2050 a quantidade de resíduos será superior em 50% a quantidade atual e esse fato exigirá a “quebra de paradigmas” para as questões sociais, econômicas e ambientais.

*Os resíduos sólidos urbanos*

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU's), vulgarmente conhecidos por lixo urbano, são resultantes das atividades doméstica e comercial das cidades. A composição das sobras pós-uso é o reflexo do perfil da população, depende diretamente da situação socioeconômica e das condições e hábitos de vida de cada um. Esses resíduos podem ser classificados das seguintes maneiras: matéria orgânica; papel e papelão; plásticos; vidro; metais; e outros: roupas, óleos de cozinha e óleos de motor, resíduos informáticos (RODRIGUES, 2009).

Dentre todos os tipos de RSU's produzidos, o plástico como um todo possui a menor taxa de reciclagem. Existe vários tipos de plásticos e também uma grande aplicação, o desafio é a recuperação desse material (reciclagem), uma vez que sua mistura perde suas propriedades originais e valor comercial. O Brasil atingiu 79,9 milhões de toneladas de RSU no ano de 2015. A estimativa da composição gravimetria dos resíduos sólidos coletados no País para o material plástico é de 13,5%, que corresponde a 24.847,9 toneladas/dia (IPEA, 2012).

O PET descartado talvez seja o segmento que vem obtendo melhor resultado em relação aos plásticos pós-consumo, com taxas de reciclagem na ordem de 60%. O PEBD aparece em segundo lugar, com uma reciclagem pós-consumo de cerca de 20%; todos os outros polímeros, porém, apresentam taxas inferiores a 10% (IPEA, 2012).

PET é a sigla designada para: PET - Poli (Tereftalato de Etileno), poliéster, ou polímero termoplástico, isto é, uma espécie de plástico extremamente resistente e 100% reciclável cuja composição química não produz nenhum produto tóxico, sendo formada apenas de carbono, hidrogênio e oxigênio. Segundo o Sistema de Controle de Produção de Bebidas (SICOBEBE, 2014), confirma que 77% de todo refrigerante produzido no país é envasado em garrafas PET.

A evolução do consumo de PET no Brasil aumentou para períodos, sem influencia comercial de eventos, de 2009 a 2011 uma média de 16.6 kton. Enquanto para períodos atípicos, copa do Mundo e Olimpíadas (2014/2016) o consumo de PET usado para embalar bebidas e alimentos saltou de 515 kton (2011) para 756 kton (2016) (ABIPET, 2016).

*Lixo urbano e aquecimento global*

Os tipos de resíduos (orgânicos biodegradável ou sólido) e como os tratamos é o principal problema do planeta que a cada ano ver o aquecimento global aumentar. Os elementos químicos gerados

são um dos maiores problemas da gestão, vida útil, fechamento e revitalização das áreas ocupadas dos aterros sanitários, devido ao risco de explosões e incêndios.

O Painel Intergovernamental de Mudanças de Carbono (IPCC) aponta que as emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ) tem um grande potencial de aquecimento global, a quantidade de 1 g desse poluente equivale a 25 g de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Através dos estudos do CETEA e CEMPRE (2008) os resíduos descartados pelos brasileiros geraram uma efetiva emissão de 158 milhões de toneladas de carbono equivalente (isto é:  $1\text{g CH}_4 = 25\text{g CO}_2\text{eq}$ ).

Diante do fato, em 2010 no Brasil foi aprovada a Lei 12.302/2010 da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que promoveu um acordo significativo entre empresas e governo federal para implantação da logística reversa de embalagens em geral. A associação Compromisso Empresarial para Reciclagem - O CEMPRE é responsável pela coordenação da coalizão de empresas da indústria e do comércio na organização do sistema de coleta e retorno de embalagens ao setor produtivo. Foi através dessa iniciativa que se começou se estabelecer uma cultura sobre os RSU's, além de promover o retorno do pós-consumo através de reciclagem, por "tabela" favorece a inclusão social, melhora a economia e pratica a responsabilidade ambiental.

### *Logística reversa*

Levou-se quase duas décadas para o Brasil institucionalizar a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12305/2010). No contexto, a logística reversa é definida como um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (MMA, 2010).

Apesar da Colisão empresarial promovida pela Lei, do avanço alcançado, da conscientização da sociedade industrial e social em relação ao lixo produzido, o desafio do Brasil é ainda muito grande. É ambiciosa, o governo brasileiro projetou um compromisso de reduzir de 36,1% a 38,9% até 2020 os gases de efeito estufa (CEMPRE, 2015).

A reciclagem do PET em 2015 atingiu o índice de 51% e o restantes representam um problema não só do Brasil, mas global, pois o tempo de decomposição das garrafas PET na natureza é de no mínimo 100 anos (ABIPET, 2017).

As garrafas PET pós-consumo é um material que desperta interesse no catador, segundo o Portal do Meio Ambiente, um quilo de garrafas PET no Brasil é R\$ 0,60. Se um catador trabalhar 25 dias e coletar no mínimo 50 kg por dia obterá uma renda de R\$ 750,00, valor que pode ajudar na economia familiar.

Uma maneira mais econômica de aproveitamento da garrafa PET pós-consumo para um determinado fim, seguindo o mesmo caminho da logística reversa, sem utilizar o processo de reciclagem, mas que exigisse de informações sobre as propriedades físicas e mecânicas da garrafa de PET como poderia?

Essa preocupação é analisada por Gonçalves (2015) que investiga uma rotina de uso da máquina universal de ensaios mecânicos EMIC DL 2000, para a realização de ensaios de compressão em garrafas PET no sentido longitudinal recebendo a força em sua base e gargalo. Além de entender sua resistência seu trabalho desperta a utilidade de um resíduo para um determinado fim mediante suas propriedades mecânicas.

Este trabalho analisa os casos descritos na literatura, com o objetivo de destacar o conceito de logística reversa para as atividades de reaproveitamento de garrafas de PET (2L) pós-consumo, a sustentabilidade ambiental e a preocupação de fornecer a resistência mecânica do diâmetro desse material.

### **Material e Métodos**

O presente trabalho avalia a resistência à compressão da garrafa PET quando submetida a uma força transversal, ou seja, ação que suprime o seu diâmetro ocasionando um aumento da seção transversal do corpo de prova (garrafa). O objetivo do ensaio (ASTM D 2659:2011) é demonstrar que esse material apresenta ou não uma boa resistência mecânica.

Para realização do teste foram adquiridas três garrafas PET pós consumo, estas foram higienizadas e separadas em um lote denominado PA. As garrafas foram identificadas respectivamente como corpo de prova PA-1, PA-2 e PA-3.

Para caracterizar os corpos de prova deve-se considerar que, a quantidade de ar no interior da garrafa não foi mensurada, que a altura 340mm e o diâmetro 97mm da mesma são constantes. Logo peso e densidade são as únicas variáveis dos corpos de prova. Os corpos PA-1 e PA-3 pesaram 49,9g, o PA-2 pesou 46,1g. A densidade de PA-1 e PA-3 foi de  $0,022\text{g}/\text{cm}^3$  (este valor foi o mesmo devido ao peso), a densidade de PA-2 foi  $0,023\text{g}/\text{cm}^3$ .

Na Figura 1 destaca-se o posicionamento da garrafa PET no momento dos ensaios (Equipamento Instron 66) realizados no Laboratório CERTBIO/UFCG/PB.



Figura 1. Equipamento Instron 66.

Nas condições do ensaio pode-se destacar os seguintes pontos, tempo de teste que é uma variável e a taxa de compressão exercida que é uma constante de 10 mm/min. O tempo de ensaio por corpo de prova foram os seguintes, PA-1: 10min7seg; PA-2: 9min25seg; PA-3: 6min35seg.

## Resultados e Discussão

O ensaio de compressão é um esforço axial que tende a provocar encurtamento ou ruptura do corpo submetido a este. Essa aplicação de carga a qual o corpo é submetido é essencial para a construção de um diagrama que expressa a relação entre Compressão/Deformação do corpo de prova testado. Com isso, ocorre um aumento da seção transversal do mesmo, isso quando a deformação do material nesta direção é permitida, pois deve-se considerar que seu volume permanece constante. Esse fato foi observado nos resultados dos ensaios do lote PA (PA-1, PA-2 e PA-3) na Figura 2.

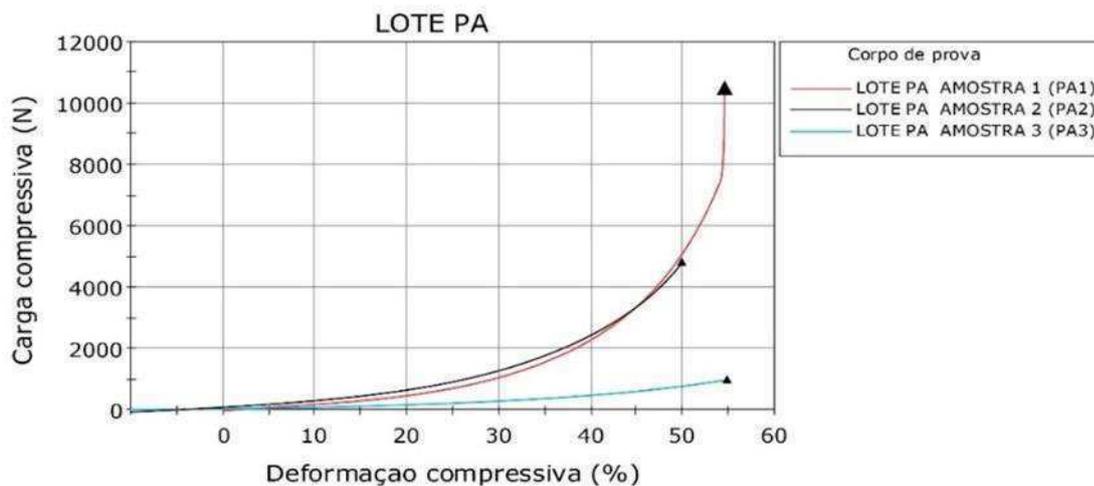


Figura 2. Gráfico dos resultados dos ensaios de compressão dos PA 1, PA 2 e PA 3.

Analisando os resultados apresentados na Figura 1, o corpo de prova PA-1 foi submetido a um teste de compressão de 98% de deformação de seu diâmetro total, foi uma meta pré-estabelecida no equipamento para o início dos ensaios. Durante esse ensaio, considerado como “ensaio piloto”, observa-se no Figura 1 uma crescente elevação da carga compressiva acima de 10.000 N que correspondeu uma deformação aproximada de 55%. Fato este que ocasionou o “transbordamento” do equipamento. Em outras palavras o transbordamento significa que o equipamento do ensaio atingiu seu limite. Assim esse parâmetro foi importante para evitar seu transbordamento e sua configuração (50%).

Todas as análises serão comparadas no ponto máximo de deformação compressiva de 50%, esse valor será suficiente para verificar como se comporta os corpos de prova e quanto de carga compressiva os mesmos suportam. Tendo em vista que 50% será o valor máximo considerado nos três corpos testados necessita destacar que o PA-1 nesse ponto atingiu 5.170 N de resistência compressiva.

O resultado do Corpo de prova PA-2 mostrou que, o valor máximo de carga compressiva atingida foi de 5.468 N que quando convertido em quilogramas representa 557,59 Kg/f para um período de tempo de 9,25 minutos. O Corpo de prova PA-3 atingiu o valor máximo de carga compressiva de 1073,755 N que representa 109,49 Kg/f em 6,35 minutos. Resultado divergente dos ensaios anteriores causado por uma quantidade de ar na embalagem inferior aos restantes do lote. Pois, observou-se que a carga compressiva, durante o ensaio, atingiu a deformação compressiva em um menor tempo.

Os resultados dos ensaios são fatos que comprovam a boa resistência da garrafa PET a cargas compressivas executadas em sentido transversal, as mesmas não sofreram nenhuma ruptura na estrutura física, vazamento do ar contido em seu interior, como também não existiu deformação no seu corpo. Com a integridade mantida e com uma média de 398 kg/f suportada podemos concluir que, a viabilidade de uso da garrafa PET oriunda do descarte pós-consumo como matéria prima de baixo custo, tem potencial e um amplo campo de descobertas a ser explorado.

## Conclusão

Através deste trabalho pode-se comprovar que a garrafa de politereftalato de etileno (PET) pós-consumo pode ser utilizada como matéria-prima devidos os resultados obtidos de sua resistência em relação a carga compressiva ensaiada. Nessa visão, a pratica da logística reversa para esse resíduo é salutar para redução de consumo de energia no processamento do material (no caso da reciclagem).

Os ensaios comprovam que o material descartado possui propriedades mecânicas para a resistência compressiva. E através dessa característica reaproveitar garrafas PET pode ser mais um “caminho” viável de reduzir esse resíduo, como também despertar uma aplicação para a embalagem distinta do processo de reciclagem (sem uso de energia), promover a inclusão social, reduzir a extração de material virgem. Por outro lado, favorece a inclusão social por meio de cooperativas de catadores, gerando emprego e renda. Certamente, essas alternativas podem somar com outros esforços para contribuir no sentido de minorar o efeito do CO<sub>2</sub>eq no planeta.

## Referências

- ABIPET. Panorama da Indústria do PET no Brasil: mercado, perspectivas, reciclagem. 2016. Disponível em: [www.abipet.org.br](http://www.abipet.org.br). Acesso em: 22/02/2016.
- ASTM. American Society for Testing and Materials. Norma ASTM D 2659:2011, 2011.
- CEMPRE. Compromisso Empresarial Para Reciclagem. Ficha técnica PET - O mercado para reciclagem. 2008. Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/8/pet>. Acesso em: 3 de setembro, 2017.
- RODRIGUES, Ê. F.; FORMIGONI, A. A busca pela sustentabilidade do PET, através da sustentabilidade da cadeia de suprimentos. 2009. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/5b/2/A.%20Formigoni%20-%20Resumo%20Exp.pdf>. Acesso em: 3 de setembro, 2017.
- GONÇALVES. Desenvolvimento de rotina de uso da máquina universal de ensaios mecânicos emic dl 2000 em compressão de garrafas pet tratadas termicamente. 2010. Disponível em: [http://www.ccet.ueg.br/biblioteca/Arquivos/monografias/Trabalho\\_de\\_Curso\\_Andre.pdf](http://www.ccet.ueg.br/biblioteca/Arquivos/monografias/Trabalho_de_Curso_Andre.pdf). Acesso em: 3 de setembro, 2017.
- IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos. Brasília: Livraria do Ipea, 2012. 82p. Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009\\_relatorio\\_residuos\\_solidos\\_urbanos.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf). Acesso em: 3 de setembro, 2017.
- MMA. Ministério do meio ambiente - Logística reversa. 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/logistica-reversa>. Acesso em: 3 de setembro, 2017.
- ONU. Assembleia Geral das Nações Unidas. Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos da Criança. 1989. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/populacao-mundial-deve-atingir-96-bilhoes-em-2050-diz-novo-relatorio-da-onu/>. Acesso em: 3 de setembro, 2017.

Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>. Acesso em: 3 de setembro, 2017.

SICUBE. O setor de bebidas no Brasil. 2014. Disponível em: [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3462/1/BS%2040%200%20setor%20de%20bebidas%20no%20Brasil\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3462/1/BS%2040%200%20setor%20de%20bebidas%20no%20Brasil_P.pdf). Acesso em: 3 de setembro, 2017.

WBG. Word Bank Group. Revista em Discussão: Resíduos Sólidos. Brasília - DF: Senado Federal, v. 22, 30 set. 2014. Bimestral. Disponível em: <http://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/residuos-solidos> Acesso em: 3 de setembro, 2017.

Testes realizados no Laboratório de avaliação e desenvolvimento de biomateriais do Nordeste - CERTBIO - UFCG. 2016.