

OPORTUNIDADES DE RECICLAGEM E REUSO DE POLÍMEROS DOS RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

III Congresso Online de Engenharia de Materiais. Inscrições encerradas, 4ª edição, de 27/04/2021 a 30/04/2021
ISBN dos Anais: 978-65-89908-00-5

JESUS; Aldair Silva de ¹, STEIN; Peolla Paula ², VELOSO; Tacia Costa ³, BENVENUTI; Tatiane ⁴

RESUMO

1. RESUMO

Com o avanço tecnológico, pode-se observar um crescimento considerável no descarte de resíduos de equipamentos de eletroeletrônicos (REEE). Muitas vezes, por obsolescência do produto ou até motivados pelo marketing que impulsiona o consumo do mais novo lançamento. Entretanto, em ambos os casos, o descarte incorreto é prejudicial ao meio ambiente e à saúde humana, devido, principalmente, à presença de metais potencialmente tóxicos encontrados nesses produtos. Além disso, as carcaças dos REEE, compostas em sua maioria por polímeros, são outra problemática a ser resolvida. Responsável pela maior fração de volume dos REEE, a carcaça polimérica também pode ser reciclada, já que apresenta polímeros termoplásticos em sua composição. Entre eles estão, principalmente, os polímeros de ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene – Acrilonitrilabutadieno-estireno) e HIPS (High Impact Polystyrene – Poliestireno de alto impacto). Este artigo busca identificar, através de revisão bibliográfica em artigos científicos, dissertações e teses de autores brasileiros, nos últimos cinco anos, soluções propostas para reciclagem de carcaças poliméricas dos REEE. Verifica-se que a reciclagem mecânica tem sido a mais adotada, que consiste na separação do resíduo polimérico, moagem, lavagem, secagem, reprocessamento e transformação do grânulo em produto final. Destaca-se a incorporação em até 20% desses polímeros ao concreto, podendo ser utilizados na construção de vias públicas. Os textos analisados indicaram que o volume de material disponível precisa ser reaproveitado, e que rotas de reciclagem convencionais para polímeros permitem o processamento destes resíduos. Embora o valor do material não seja o maior motivador do processo, desafios como a logística reversa precisam ser superados para viabilizar a reciclagem.

2. ABSTRACT

Due to technological advances, there is a notable increase in the disposal of wastes from electrical and electronic equipment (WEEE). Many times, due to product obsolescence or even motivation by the marketing that drives the purchase of the top new product. However, in both cases, improper disposal is harmful to the environment and human health, mostly due to the presence of potentially toxic metals found in these products. The WEEE frames, mainly composed of polymers are another

¹ UESC, aldair.uesceq@gmail.com

² UFSB, peolla.stein@gfe.ufsb.edu

³ UFSB, taciaveloso@ufsb.edu.br

⁴ UESC, tbenvenuti@uesc.br

problem to be solved. Responsible for the largest fraction of the WEEE's volume, the polymeric frames can also be recycled since they present thermoplastic polymers in their composition. Among them are mainly the Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) and High Impact Polystyrene (HIPS) polymers. This article seeks to identify, through a literature review using scientific articles, dissertations, and thesis from Brazilian authors, in the last 5 years, the proposed solutions for the WEEE's polymeric frames recycling. Mechanical recycling has been the most adopted process, consisting of the separation of the polymeric residual, the grinding, washing, drying, reprocessing, and transformation of the granule into a final product. Stands out the incorporation of up to 20% of these polymers into concrete, being able to be used in public roads. The analyzed texts indicate the volume of material available must be reused, and that common recycling routes for polymers allow the processing of these residuals. Although the material's value is not the greatest motivation for the process, challenges like reverse logistics must be surpassed to make recycling viable.

3. INTRODUÇÃO

As inovações tecnológicas são responsáveis por um grande avanço na transformação da sociedade, porém trouxeram consigo uma situação delicada. Quando deixam de funcionar ou de ser utilizados, independente do motivo, constituem os Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE). Segundo um estudo realizado pela ONU, o Brasil produz 1,5 mil toneladas de resíduos eletroeletrônicos anualmente, sendo o maior produtor da América Latina, ocupando a 7ª posição no mundo (BALDE et al., 2017).

É muito comum que resíduos de equipamentos eletroeletrônicos sejam descartados incorretamente, ocasionando uma série de problemas ambientais provenientes de metais potencialmente tóxicos (como alumínio, chumbo, mercúrio e berílio) encontrados em sua estrutura (FRAGMAQ, 2018). Tais resíduos são compostos por uma parte polimérica, geralmente sua carcaça, que também possui substâncias prejudiciais para o meio ambiente.

O estudo de técnicas para reciclagem e caracterização das carcaças de resíduos de equipamentos eletrônicos é de suma importância, visto que, através de análises químicas, é possível avaliar os possíveis danos que o seu descarte incorreto pode acarretar ao meio ambiente e à saúde humana (BARROSO, 2016). Na composição dessas carcaças, são encontrados retardantes de chamas, compostos de cloro e bromo; além disso, contém substâncias potencialmente tóxicas oriundas do acréscimo de aditivos, estabilizantes e pigmento no processo de produção dos polímeros (BARROSO, 2016).

Apesar da problemática, as carcaças poliméricas apresentam pouco valor para as recicladoras, em comparação com outras partes dos REEE, que contém metais preciosos como o ouro. Por essa razão, neste artigo iremos analisar, através de uma revisão bibliográfica, técnicas viáveis para a reciclagem ou reutilização desses polímeros.

4. METODOLOGIA

Essa pesquisa foi realizada por meio do Google Acadêmico e Portal SciELO, a procura de títulos que trazem a relação entre Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos e materiais poliméricos. As palavras-chaves utilizadas foram: carcaça polimérica, polímeros, REEE, reciclagem/reutilização. Foram selecionados materiais publicados nos últimos 5 anos.

Nas análises realizadas para caracterização dos polímeros de REEE com objetivo reciclagem, destaca-se a análise granulométrica,

¹ UESC, aldair.uesceq@gmail.com

² UFSB, peolla.stein@gfe.ufsb.edu

³ UFSB, taciaveloso@ufsb.edu.br

⁴ UESC, tbenvenuti@uesc.br

Espectroscopia por Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

Entre o conteúdo dos artigos/dissertações avaliados, pode-se destacar como o processo mais citado o de reciclagem mecânica das carcaças poliméricas, até a formação de pellets. As etapas deste processo são indicadas na Figura 1 e comentadas a seguir.

4.1 Moagem

Para realização da moagem/trituração da carcaça polimérica, é necessário realizar a separação pelo tipo e coloração do polímero. Isto porque a mistura de fragmentos de tais materiais reduz a qualidade do produto final, em função das diferentes temperaturas de fundição, propriedades, entre outros fatores (PESSÔA, 2018).

O material é triturado em pequenas frações para que esteja em tamanho adequado para seu processamento futuro. É indicado que essa etapa seja realizada em duas partes: com o uso de um triturador, primeiro o material é cominuído em partículas maiores, de aproximadamente 25-50mm. Em seguida, essas são moídas em tamanhos menores, de aproximadamente 5 mm x 5 mm, utilizando lâminas giratórias (PESSÔA, 2018).

4.2 Lavagem

Nessa etapa, o polímero já triturado é submerso em um tanque adequado para lavagem e descontaminação, como, o tanque de lavagem e descontaminação da marca Gold Press (BARROSO, 2016). Esse modelo dispõe de ferramentas ideais para realização desse processo. Este tanque pode ser projetado dentro das condições da própria recicladora.

A lavagem é recomendada para retirar os resíduos e sujeira preso ao material, removendo também rótulos e adesivos (PESSÔA, 2018). Quando finalizada, a água utilizada deve receber tratamento devido, para que possa ser reutilizada em operações posteriores.

4.3 Secagem

Após a lavagem, faz-se necessário a secagem do produto, afim de evitar complicações na etapa de extrusão. A secagem do produto é feita via ar quente. (PESSÔA, 2018).

4.4 Extrusão

Durante a extrusão, o aglomerado de plásticos é transformado em pellets por meio de uma extrusora (PESSÔA, 2018). É importante haver um controle de temperatura durante o processo de extrusão, por conta dos diferentes pontos de fusão de cada polímero. A função da extrusora é fundir e tornar a massa polimérica homogênea. O material moído é transformado em “espaguete” e resfriado, por fim cortado em um granulador, ganhando o formato de grãos plásticos, conhecido como pellets (BARROSO, 2016).

Entre os resultados, são destacados dois estudos realizados no Brasil, que utilizaram resíduos poliméricos na produção de materiais compósitos para a construção civil, indicando a potencialidade do material reciclado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

ALMEIDA (2017) foi responsável pelo trabalho de caracterização e da avaliação da utilização de carcaças provenientes de REEE incorporados ao concreto. Selecionou seu material previamente separado em um centro de coleta de Sorocaba, SP, Brasil. Foram escolhidos polímeros de equipamentos como monitores, gabinetes de computadores, teclados, TV's, impressoras, entre outros, já desmontados. Após a seleção, realizou um processo semelhante ao de reciclagem mecânica. Para caracterização do resíduo processado, realizou a análise granulométrica, ensaio de

¹ UESC, aldair.uesceq@gmail.com

² UFSB, peolla.stein@gfe.ufsb.edu

³ UFSB, taciaveloso@ufsb.edu.br

⁴ UESC, tbenvenuti@uesc.br

molhabilidade e FTIR. O polímero foi utilizado na produção de concreto. Foram avaliadas propriedades físicas e mecânicas do material resultante com a substituição de 5%, 8%, 10%, 15% e 20%, em massa, do resíduo polimérico de REEE em substituição ao agregado graúdo.

No processo de análise granulométrica, apresentada na Figura 2 observou-se que os polímeros advindos do REEE, apresentaram granulometria na faixa dos 6,3mm, sendo compatível como agregado graúdo (ALMEIDA, 2017).

Por meio do ensaio de molhabilidade, constatou-se que o resíduo é hidrofílico, permitindo boa interação com a argamassa de cimento e água. Por FTIR, foi identificado que as carcaças utilizadas eram constituídas praticamente por HIPS (ALMEIDA, 2017).

Devido à diferença de volume em relação à massa entre o do agregado de REEE e a brita, foi produzida uma maior quantidade de concreto com a mesma quantidade de água. O que permite concluir que há uma redução na utilização de água para a produção de concreto, quando se utiliza esse resíduo (ALMEIDA, 2017).

Os resultados de massa específica dos concretos com as diferentes porcentagens de incorporação, foram superiores a 2000 Kg/m³. Segundo a NBR 8953 (ABNT, 2015) este material pode ser classificado como concreto de estrutura normal. Na análise de resistência, verificou que com o aumento da incorporação desse polímero ao concreto acarreta uma diminuição da resistência a compressão, mas os valores obtidos foram acima a 20 MPa, levando à conclusão de que o concreto obtido com até 20% de incorporação é um material de resistência média. Com o tempo de cura (7, 28 e 63 dias), o concreto continua a ganhar resistência, mostrando que a incorporação não inibiu a cristalização do concreto (ALMEIDA, 2017).

Ensaio como o de resistência à tração por compressão diametral e ensaio de módulo de elasticidade, foram realizados a fim de aferir possíveis aplicações do concreto obtido. De acordo com os resultados alcançados pela autora, a mesma observou que esse material pode ser utilizado para calçadas de pedestres, guias, blocos intertravados para pedestres, entre outros usos não estruturais. Nesse caso, é recomendado uma incorporação de até 10% do polímero ao concreto, pois nos ensaios foi visto que a sua queda de resistência não foi significativa em relação ao concreto sem incorporação (ALMEIDA, 2017).

Para a reciclagem polimérica, CONSUL (2018) avaliou a utilização de argilas em HIPS reciclados a partir de resíduos eletrônicos. O seu material foi obtido através da empresa Sinctronics, em Sorocaba-SP, a partir de diversas fontes, como computadores, notebooks, impressoras, etc. Na separação, os materiais dos REEE (vidros, plásticos, metais) foram desmontados e separados para evitar misturar entre os diversos polímeros e cores. Em seguida, com os materiais devidamente separados, realizou-se a reciclagem mecânica para a obtenção de pellets. Os pellets reciclados foram moldados em novos materiais, dividido em dois processos diferentes, um com argila e outro sem.

No processo sem a argila, foram moldados por compressão a quente, no formato de placas com dimensões de 160 mm x 180 mm x 5 mm, para realização de ensaios de flexão. Posteriormente, cortados em corpos de prova de dimensões 127 mm x 250 mm x 3 mm, para ensaios de tração e de impacto (CONSUL, 2018).

Para moldagem, utilizou-se de moldes metálicos em liga de alumínio, juntamente com uma prensa hidráulica, sob aquecimento e pressão. Os moldes foram devidamente higienizados e preparados para o

¹ UESC, aldair.uescq@gmail.com

² UFSB, peolla.stein@gfe.ufsb.edu

³ UFSB, taciaveloso@ufsb.edu.br

⁴ UESC, tbenvenuti@uesc.br

processo. Na moldagem dos compósitos, utilizou-se de quatro tipos diferentes de argilas bentonitas. Dentre elas, duas não eram organofilizadas, sendo assim, não possuem tratamento de troca catiônica (CONSUL, 2018). Para cada placa moldada, foi adicionado 2,5% em massa das argilas da tabela 1.

Na etapa de modelagem com as argilas, dois métodos diferentes foram utilizados: Método 1: Nos moldes metálicos, realizou-se a adição e distribuição manual das argilas sobre os pellets de HIPS reciclado, seguindo o mesmo método das placas sem argila. Método 2: Durante a extrusão, o HIPS foi processado juntamente com as respectivas argilas. Posteriormente, os compósitos foram aquecidos em uma estufa a 70 °C durante 2 h, com intuito de reduzir a umidade e, em seguida, realizar as moldagens (CONSUL, 2018).

As placas obtidas foram submetidas a diversos testes, sendo eles: ensaios mecânicos (ensaios de flexão, ensaio de tração, ensaio de impacto IZOD), MEV, ensaio de dureza, termogravimetria, calorimetria exploratória diferencial e FTIR. Realizou-se uma análise estatística dos resultados dos ensaios mecânicos (CONSUL, 2018).

Segundo o Consul (2018), os resultados de propriedades mecânicas e térmicas alcançados em sua pesquisa, indicam viabilidade da reciclagem do HIPS de REEE para aplicações semelhantes de proteção de equipamentos eletroeletrônicos. O HIPS reciclado sem carga, apresentou resultados semelhantes ao HIPS virgem da literatura.

Nos resultados dos ensaios mecânicos dos compósitos, o que apresentou melhor aproveitamento foi o de argila sem tratamento, que teve as propriedades mecânicas menos afetadas pelo de HIPS reciclado. Em contrapartida, as argilas organofilizadas, deixaram os compósitos mais frágeis, provavelmente, por haver maior interação entre a argila com a fase borrachosa de polibutadieno (CONSUL, 2018).

No geral, observou-se que o uso de argilas bentonitas possibilitou benefícios para os compósitos, viabilizando a reciclagem dos polímeros de HIPS, pois atuou como agente deslizante no reprocessamento, o que facilita a moldagem do material polimérico. Além disso, apresentou possível uso como retardantes de chamas, evitando também o uso de aditivos potencialmente tóxicos. Entretanto, é necessário levar em consideração se os compósitos são adequados para o novo produto a ser moldado, porque durante os ensaios mecânicos, esses apresentaram propriedades inferiores por conta do uso da argila (CONSUL, 2018).

6. CONCLUSÕES

Como foi verificado nos artigos e dissertações selecionados, a reciclagem mecânica das carcaças poliméricas dos REEE é indicada, abrindo novas possibilidades para o reuso desse material e colaborando na redução do descarte incorreto. O polímero reprocessado poderá ser destinado ao reuso, como no caso da incorporação ao concreto como substituição do agregado graúdo. Adicionalmente, técnicas para melhorar propriedades do material reciclado com o uso de argilas permitem que seja destinado a utilizações mais adequadas ou a obtenção de materiais reciclados com propriedades semelhantes às iniciais.

A depender da finalidade da reciclagem mecânica, o material pode ser submetido a diferentes ensaios, entretanto a caracterização do polímero é essencial, por isso, ensaios como FTIR e MEV estão sempre presentes. Estes são importantes para definir o destino mais adequado para o material reciclado. A ampliação de estudos de viabilidade do processo e das aplicações para o material reciclado será um motivador para aumentar o interesse econômico pela reciclagem das carcaças, que

¹ UESC, aldair.uesceq@gmail.com

² UFSB, peolla.stein@gfe.ufsb.edu

³ UFSB, taciaveloso@ufsb.edu.br

⁴ UESC, tbenvenuti@uesc.br

ainda depende de uma melhoria na logística reversa, já regulamentada e necessária para estes resíduos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. Avaliação da utilização de Resíduos Eletroeletrônicos (REEE) incorporados ao concreto em substituição ao agregado graúdo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista. Sorocaba/SP, p. 79. 2017.

BALDÉ, C. P., et. al. The Global E-waste Monitor - 2017, Bonn/Geneva/Vienna: United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), 2017

BARROSO, R. G. M. R. Dimensionamento de sistemas para recuperação de materiais magnéticos, não magnéticos e polímeros provenientes de resíduo eletrônico. TCC (Graduação em Química Tecnológica) – Universidade de Brasília. Brasília, p. 54. 2016.

CONSUL, T. B. Avaliação da utilização de argilas em poliestireno de alto impacto reciclado de equipamentos eletroeletrônicos (REEE). Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba. Sorocaba/SP, p. 98. 2018.

Grupo Fragmaq. Saiba quais os danos causados pelo descarte inadequado de lixo eletrônico ao meio ambiente. Publicado em 7 fev. 2018. Disponível em : <https://www.fragmaq.com.br/blog/saiba-quais-os-danos-causados-pelo-descarte-inadequado-de-lixo-eletronico-ao-meio-ambiente/>

PESSOÃ, V. A. F. Reciclagem e reutilização de materiais poliméricos plásticos. TCC (Graduação em Engenharia de Materiais) – Escola politécnica, UFRJ. Rio de Janeiro/RJ, p. 50. 2018.

PALAVRAS-CHAVE: reciclagem mecânica, agregado, concreto, argilas, compósitos

¹ UESC, aldair.uesceq@gmail.com

² UFSB, peolla.stein@gfe.ufsb.edu

³ UFSB, taciaveloso@ufsb.edu.br

⁴ UESC, tbenvenuti@uesc.br