

Resíduos eletroeletrônicos: materiais reaproveitados dentro da cadeia de processamento

J. L. Kunrath*, H. M. Veit

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – RS – Brasil

*Av. Paulo Gama, 110 - Bairro Farroupilha, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, CEP 90040-060

(Recebido em 18/03/2015; revisado em 01/07/2015; aceito em 22/10/2015)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo:

O crescente volume de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) gerados pela sociedade impulsiona uma complexa cadeia produtiva de reciclagem, pois os equipamentos descartados possuem em sua composição diversos materiais de interesse econômico. Ainda, muitos materiais utilizados na fabricação de equipamentos eletrônicos são nocivos à saúde, se, incorretamente descartados ou manuseados. Este trabalho apresenta um estudo com empresas que realizam o processamento destes resíduos a fim de identificar os principais componentes e materiais que após o processamento resultam em frações de materiais passíveis de reutilização/reciclagem pela indústria. As informações foram obtidas por meio de um questionário semiestruturado em empresas que realizam o processamento de resíduos eletroeletrônicos em âmbito nacional. Conclui-se que a parcela reciclável dos resíduos é em média 80% do total do material coletado. Os setores da sociedade que mais contribuem com REEE são a indústria com 41,3%, seguido do comércio e de uso doméstico.

Palavras-chave: Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos; materiais recicláveis; processadores de REEE.

Abstract:

The growing volume of Electrical and Electronic Equipment (WEEE) generated by the company drives a complex supply chain of recycling, because the discarded equipment has in its composition many materials of economic interest. Still, many materials used in the manufacture of electronic equipment are harmful to health if incorrectly handled or discarded. This paper presents a study of companies that perform the processing of waste to identify the main components and materials after processing result in material fractions capable of reuse / recycling industry. Information was obtained through a semi structured questionnaire in companies that perform processing of electronic waste nationwide. It is concluded that the recycled part of the waste represents an average of 80% of the total amount of collected material. The sectors of society which contribute more to this waste are the industrial sector, with 41.3%, followed by the commercial and domestic sectors.

Keywords: Waste electrical and electronic equipment; recyclable materials; WEEE companies.

1. Introdução

O desenvolvimento tecnológico das últimas décadas possibilitou à grande parcela da população mundial o acesso a equipamentos eletroeletrônicos dos mais diversos usos e, novas tecnologias surgem a cada dia, reduzindo, significativamente, o ciclo de vida destes bens disponibilizados para o consumo da população.

Ao atingir o fim da vida útil os EEE (equipamentos eletroeletrônicos) são descartados pela sociedade. O motivo para o descarte pode ser por defeito, desgaste ou porque o equipamento se tornou obsoleto estética ou tecnologicamente.

O impacto ambiental ocasionado pelo manuseio e descarte inadequado deste material tem mobilizado segmentos de vários países na busca de uma solução para o correto trato e destinação destes equipamentos. A disposição dos materiais na natureza, sem o devido cuidado, causam sérios danos à

saúde da população e ao meio ambiente, pois os EEE possuem em sua composição metais perigosos como o cádmio, chumbo e o mercúrio, entre outros [1]. Estes elementos são potencialmente tóxicos ocasionando riscos para as pessoas que manuseiam os resíduos [2] e ao meio ambiente, pois, ao serem incorretamente descartados podem contaminar o solo e o lençol freático da região [3].

Por outro lado o descarte de EEE também resulta reflexos na economia uma vez que na fabricação destes equipamentos são utilizados metais ou ligas metálicas como ouro, prata, bronze, cobre e alumínio, gerando uma cadeia produtiva para reciclagem e recuperação destes materiais [4].

Os equipamentos eletroeletrônicos são todos aqueles produtos cujo funcionamento depende do uso de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos. Estes equipamentos passam a ser caracterizados como REEE quando se tornam tecnologicamente inadequados para o uso, ou quando são

*Email: orge.kunrath@gmail.com (J. L. Kunrath)

esgotadas todas as possibilidades de reparo, atualização ou reuso [2].

A reciclagem, ou o processamento de REEE, pode ser entendido como a extração dos materiais constituintes dos equipamentos, transformando-os em matérias-primas secundárias, que serão reintegradas ao processo produtivo [4].

Em sua pesquisa Kasper [5] apresenta estudo da UNU (*United Nations University*) estimando em 40 milhões de toneladas/ano a geração de resíduos no mundo em 2007, o que representava aproximadamente 5% de todos os resíduos sólidos gerados. Quanto ao Brasil, a partir de informações da ONU (Organização das Nações Unidas), Fonseca [6] registra que em 2010 foram descartados 96,8 mil toneladas de computadores, estando, o país, entre os principais no descarte

de celulares, impressoras e TVs, sendo líder entre as nações emergentes na geração per capita deste tipo de resíduo, com meio quilo/ano.

De uma forma geral, os REEE são compostos por metais, polímeros e cerâmicos. Dentre os metais, pode-se destacar o cobre, alumínio, ouro e prata. Sendo que as placas de circuito impresso (PCI) são os componentes que concentram o maior interesse devido a presença de metais preciosos, especialmente o ouro. Porém, a efetiva reciclagem destes resíduos só é possível após várias etapas.

A cadeia de reciclagem com as etapas de coleta, desmontagem, pré-processamento e refino é descrita pela UNEP [7] e representada de forma adaptada na Figura 1.

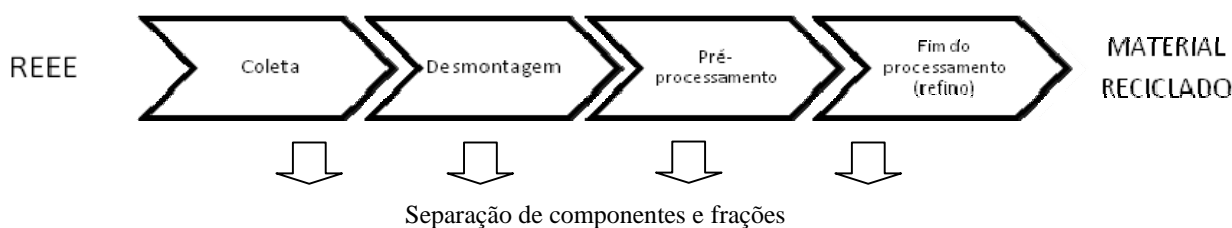


Figura 1. Cadeia de Reciclagem
Fonte: UNEP, 2009 [7]

Estas etapas podem ser realizadas por uma única empresa ou então segmentada por diversas empresas. No Brasil, a maioria das empresas que operam na cadeia de resíduos eletroeletrônicos atuam nas três primeiras etapas (coleta, desmontagem e pré-processamento), sendo que a etapa de refino, normalmente, é realizada fora do país por indústrias especializadas no tratamento deste tipo de resíduo e com tecnologias eficientes para a remoção dos materiais, em especial dos metais presentes nas PCI's.

Este estudo investigou empresas nacionais que coletam, desmontam e realizam algum tipo de pré-processamento a fim de obter dados qualitativos (que tipos de resíduos são trabalhos, quais os materiais que são obtidos e quais os resíduos gerados) e quantitativos (quantidade de REEE trabalho, quantidades de materiais obtidos e quantidades de resíduos gerados).

2. Materiais e Métodos

2.1. Métodos

Para a realização do trabalho foram utilizadas as técnicas de abordagem da pesquisa qualitativa e quantitativa. Em complemento, foi aplicado o método de "fluxo de massa", que quantifica o fluxo de materiais de determinado sistema, avaliando o processo e os materiais envolvidos, descrito na publicação "*e-Waste Assessment Methodology Training &*

Reference Manual" da *Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (EMPA)* [8].

2.2. Procedimentos

Como ferramenta para coleta de dados foi utilizado um questionário, estruturado de maneira a captar os elementos de qualidade dos processos e da mensuração dos insumos e produtos. O questionário contou com perguntas abertas, que permitiram a resposta livre do respondente e questões fechadas contendo escalas.

As empresas foram, em sua maioria, contatadas antecipadamente e informadas do objetivo do questionário, estabelecendo-se um primeiro contato entre o pesquisador e as organizações detentoras dos dados. Também foi o momento de convencimento na garantia de confidencialidade das informações e dúvidas sobre a finalidade da pesquisa.

O questionário foi enviado para 46 empresas, sendo a maioria no estado de São Paulo (34 empresas). Deste total, apenas oito empresas responderam a pesquisa, sendo que algumas responderam apenas parcialmente.

As empresas que participam da pesquisa caracterizam-se como processadoras de REEE, ou seja, coletam, armazenam, desmontam e descaracterizam EEE. Encontram-se no primeiro estágio do ciclo, e estabelecem vínculo direto com a sociedade que gera e descarta os EEE. Em sua maioria não realizam os procedimentos mais complexos da reciclagem, como: tratamentos pirometalúrgicos, hidrometalúrgicos,

eletrometalúrgicos, ou mesmo mecânicos – separação de materiais pelas propriedades magnéticas, elétricas, densidade, entre outras [5]. A operação é essencialmente manual, compostas de pequeno grupo de pessoas e não possuem grandes espaços ou maquinários.

Para obter uma visão mais completa e abrangente do setor se estabeleceu como limitação geográfica da pesquisa as empresas que processam resíduos no território brasileiro.

3. Resultados e Discussão

De acordo com as respostas obtidas, o setor que mais disponibiliza resíduos para as empresas processadoras é a indústria (41,2%) seguida do comércio com 27,5%. Nota-se a pequena participação dos segmentos de governo, exceto do governo municipal com participação de 4,5%. O percentual mais elevado do governo municipal justifica-se pelas campanhas de conscientização, normalmente no âmbito municipal. A Tabela 1 apresenta o percentual de resíduos recebidos de cada segmento da sociedade.

Tabela 1. Participação dos setores da sociedade nos resíduos coletados

Fonte Geradora	Participação (%)
Comércio	27,5
Indústria	41,25
Doméstico	18,75
Universidades particulares	3,13
Universidades públicas	1,88
Governo Federal	0,62
Governo Estadual	0
Governo Municipal	4,37
Não determinado	1,25
Outras origens não listadas	1,25
	100

A Figura 2 lista os sete grupos de resíduos definidos pela pesquisa e apresenta o percentual médio reciclável dos equipamentos incluídos em cada grupo, de acordo com as empresas respondentes. Os resíduos com maior índice de aproveitamento são os grupos dos computadores/notebooks e

equipamentos industriais e comerciais com um percentual de reciclabilidade de 92% respectivamente. O grupo composto por resíduos de celulares, *tablets* e *smartphones* apresenta o segundo melhor percentual com 90%. Os dados demonstram que os resíduos de monitores/televisores, que incluem telas de LCD (*liquid crystal display*), plasma, LED (*light emitting diode*) e CRT (*cathode ray tube*) possuem um índice médio de reciclabilidade de apenas 54%, resultando significativa parcela de rejeitos.

A soma dos valores dos resíduos recebidos por todas as empresas pesquisadas para cada grupo de resíduos é apresentado na Tabela 2. Com estes valores é possível avaliar a sua representatividade no volume total de material recebido mensalmente.

Os equipamentos industriais/ comerciais representam o maior volume, em toneladas/mês, de resíduo recebido para processamento com 31% (máquinas eletrônicas, instrumentos, equipamentos de telecomunicações, ferramentas eletrônicas, etc.). Monitores/televisores também possuem significativa participação (27%). Os volumes da chamada Linha Azul (batedeira, liquidificador, furadeira, e outros) e Linha Branca (geladeira, fogão, lava roupas, ar condicionado e outros) mostram-se pouco representativos, confirmando as características das empresas processadoras voltadas para o negócio de resíduos de equipamentos eletrônicos em detrimento dos eletrodomésticos. Os grupos computadores e impressoras representam parcela de 34% do volume total registrado.

A Tabela 3 descreve as informações obtidas sobre os volumes médios produzidos mensalmente. Este resultado demonstra os dados de apenas duas empresas que responderam esta parte do questionário. Agrupando os principais tipos de produtos é possível inferir que para a empresa A as PCI representam 59,2% do volume produzido; metálicos (Al, Cu, Aço, Inox e outros) contribuem com 30,8%; materiais poliméricos (PE, PP, ABS, PC, PVC e outros) com 8,9%; vidro com 1,1%. No caso da empresa B os percentuais são de PCI 4,6%; metálicos 75,2%; materiais poliméricos 20,1% e vidro 0,1%.

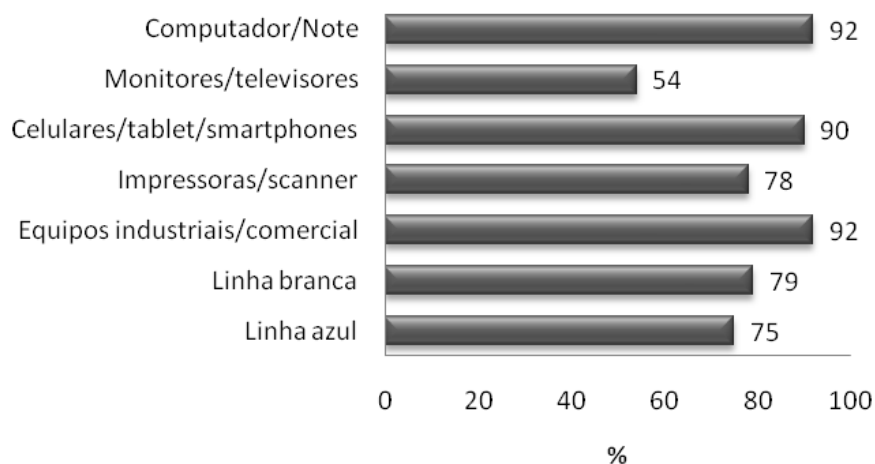


Figura 2. Parcela reciclável dos resíduos

O processamento dos resíduos resulta em uma extensa gama de produtos, com características e composição que depende dos insumos utilizados e dos objetivos de cada empresa. A Tabela 4 descreve a lista das frações de produtos resultantes dos processamentos e qual a destinação final. São apresentados 13 tipos de frações produzidas e são listados três destinos. Foram oferecidas aos respondentes outras opções de destinos, não havendo a escolha.

Tabela 2. Volume mensal consolidado de REEE

Grupo de resíduos	Total (toneladas/mês)
Computador	22,21
Monitores/Televisores	38,47
Celulares/Tablets/Smartphones	2,78
Impressoras/Scanner	26,58
Equipamentos industriais/ comerciais	45,07
Linha branca	5,29
Linha azul	4,27
Total	144,68

Os percentuais obtidos representam a participação de cada produto no total dos destinos informados pelos respondentes, não possuindo relação com a quantidade/volume de material movimentado.

O produto PCI – placa de circuito impresso possui como destinos recicladores fora do Brasil no percentual de 78%. Caracterizando-se, dentro da lista de frações oferecida, como o mais exportado. Isso ocorre basicamente por dois motivos: a tecnologia necessária para a sua reciclagem é de alto custo e a quantidade passível de PCI coletada dentro do território nacional não seria suficiente para operar uma planta industrial.

Alumínio e vidro são 100% processados dentro do Brasil não ocorrendo exportação. Outros produtos metálicos como:

ferro, aço inoxidável, cobre e outros metais apresentam um alto índice de reciclagem dentro do Brasil, com exportação inferior a 10%.

Tabela 3. Frações de materiais produzidos (ton./mês)

Tipo de produto	Empresa A	Empresa B
	Toneladas/mês	
PCI – placas de circuito impresso	3,34	2,5
Al - alumínio	0,21	5,00
Cu - cobre	0,34	0,50
Aço – aço carbono, ferro	1,00	35,0
Inox – aço inoxidável	0,17	-
Metais (outros metais)	0,02	-
PE - polietileno	-	-
PP - polipropileno	-	-
ABS - acrilonitrila butadieno estireno	-	4,0
PC - policarbonato	-	0,8
PVC = poli cloreto de vinila	-	-
Plástico = outros polímeros	0,50	6,0
Vd - vidro	0,06	0,05
Outros produtos	-	-
Total produzido	5,64	53,85

As frações de polímeros e plásticos também possuem elevado índice de reciclagem no país, com um resultado um pouco inferior aos metálicos. São aplicados e manufaturados, em nível nacional, 82,5% dos produtos/frações que resultaram das etapas de processamento.

Tabela 4. Destinação das frações resultantes do processamento

Tipo de produto	Outras empresas recicladoras no Brasil	Empresas recicladoras de refino no exterior	Indústrias que processam material reciclado no Brasil	Destino (%)	
					%
PCI – placas de circuito impresso	11	78	11	100	100
Al - alumínio	80	0	20	100	100
Cu - cobre	70	10	20	100	100
Aço – aço carbono, ferro	66	11	23	100	100
Inox – aço inoxidável	66	11	23	100	100
Metais (outros metais)	72	14	14	100	100
PE - polietileno	50	17	33	100	100
PP - polipropileno	50	17	33	100	100
ABS - acrilonitrila butadieno estireno	43	14	43	100	100
PC - policarbonato	60	20	20	100	100
PVC = poli cloreto de vinila	60	20	20	100	100
Plástico = outros polímeros	66	17	17	100	100
Vd - vidro	57	0	43	100	100

4. Conclusões

O estudo demonstrou que os resíduos eletroeletrônicos possuem uma composição bastante complexa e variável o que dificulta processos universais de reciclagem. As empresas pesquisadas realizam os procedimentos básicos de processamento, atuando na coleta, desmontagem e pré-processamento. O material resultante tem como destinos: outras empresas de reciclagem no Brasil; indústrias que consomem material reciclado ou é enviado para empresas de refino fora do país.

A parcela reciclável dos resíduos é em média 80% do total do material coletado. Algumas categorias como dos computadores/notebooks possuem índice de reciclagem de 92% enquanto tubos de imagem tipo CRT de 54%.

Com relação à destinação dos produtos obtidos, verifica-se que a maioria deles é comercializada com outros recicladores dentro do Brasil.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGE3M) da UFRGS pelo apoio necessário na realização deste estudo.

Referências

- [1] Rodrigues, Â. C. Fluxo domiciliar de geração e destinação de REEE no município de São Paulo/SP: caracterização e subsídios para políticas públicas [tese de doutorado]. São Paulo, 2012.
- [2] ABDI, Logística reversa de equipamentos eletrônicos: análise de viabilidade técnica e econômica. ADBI, Brasília, 2013.
- [3] Rocha, H. T., Gomes, F., Streicher-Porter, M., Portugal, S., Almeida, R., Ribeiro, J. Diagnóstico da geração de resíduos eletroeletrônicos no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.
- [4] Santos, C. A. F. A gestão dos resíduos eletroeletrônicos e suas consequências para a sustentabilidade: um estudo de múltiplos casos na região metropolitana de Porto Alegre [dissertação de mestrado]. Porto Alegre, 2012.
- [5] Kasper, A. C., Caracterização e reciclagem de materiais presentes em sucatas de telefones celulares [dissertação de mestrado]. Porto Alegre, 2011.
- [6] Fonseca, G., Bueno, R., Lixo eletrônico uma responsabilidade de todos. Santa Maria, 2013.
- [7] UNEP (United Nations Environment Programme), Recyclin from e-waste to resources - final version. Berlin, jul 2009.
- [8] EMPA (Eindgenössische Materialprüfungs und Forschungs Anstalt), e-waste assessment methodology training & reference manual, 2012.