



28 · 29 · 30  
de OUTUBRO

**XII SEGET**  
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
TEMA 2015  
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



# **Benefícios econômicos e ambientais da reciclagem e reuso de resíduos eletroeletrônicos: Estudo de caso em um centro de reciclagem especializado em São Paulo**

**Adriano Michelotti Schroeder**  
adrianoms@uninove.br  
UNINOVE

**Geraldo Cardoso de Oliveira Neto**  
geraldo.prod@ig.com.br  
UNINOVE

**Luiz Fernando Rodrigues Pinto**  
luiz.rodrigues@navistar.com.br  
UNINOVE

**Elesandro Antonio Baptista**  
elesandro@elesandroab.eng.br  
UNINOVE

**Resumo:** O avanço tecnológico dos equipamentos eletroeletrônicos tem contribuído com o aumento do consumo desses produtos, por consequência, observa-se o incremento no volume de descarte de aparelhos obsoletos. Este cenário que aponta aumento na geração de resíduos eletroeletrônicos tem se apresentado como um problema para a sociedade, devido à capacidade limitada dos aterros e o risco eminente de contaminação dos ecossistemas pelas substâncias contidas nestes produtos. Neste sentido, os processos de reciclagem e reuso de materiais se apresentam como alternativa para minimizar o impacto ambiental. Este artigo tem por objetivo avaliar os benefícios econômicos e ambientais obtidos na operação do centro de reciclagem e reuso de resíduos eletroeletrônicos de uma grande fabricante norte americana de computadores e periféricos para informática, situada em São Paulo. Adotou-se para essa pesquisa o método estudo de caso realizado por meio de observação e entrevista. Para a avaliação ambiental utilizou-se Mass Intensity Factor (MIF). Os resultados apontaram benefícios econômicos e ambientais com a adoção de reciclagem e reuso do resíduo eletroeletrônico.

**Palavras Chave:** Reciclagem - Reuso - Resíduo eletrônico - Vantagem econômica - Vantagem

**ambiental**



28 · 29 · 30  
de OUTUBRO

**XII SEGET**  
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
— TEMA 2015 —  
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



## 1. INTRODUÇÃO

Na sociedade contemporânea, os equipamentos eletroeletrônicos, em especial, os itens relacionados à Tecnologia da Informação, aparecem como agentes facilitadores das mais diversas tarefas, tanto para as pessoas quanto para as corporações. Computadores e impressoras tornaram-se ferramentas básicas de trabalho para as pessoas. Por meio de softwares, possibilitam compartilhar informações, reduzir esforços, tempo, distâncias e, conseqüentemente, custos inerentes a todas essas tarefas.

No Brasil, dados obtidos na 26ª Pesquisa Anual do Uso de TI em 2015, idealizada pelo Centro de Tecnologia da Informação Aplicada da FGV – EAESP, o gasto e investimentos em TI representam 7,6% da receita das empresas. A pesquisa aponta também que, em agosto de 2017, o cenário brasileiro de computadores apresentará a marca de 208 milhões de unidades. Os números apresentados agradam a sociedade brasileira pelo fato de aumentar o acesso à informação, viabilizar processos e reduzir custos. Por outro lado, o aumento de resíduos eletrônicos decorrente da rápida obsolescência dos equipamentos de informática torna-se preocupante, tendo em vista a dificuldade de gestão de seus resíduos após sua vida útil.

O artigo 5º do Capítulo I do Decreto nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010, estabelece que os fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos são responsáveis pelo ciclo de vida dos produtos (BRASIL, 2010).

Assim, a Lei estende-se às empresas produtoras de equipamentos eletroeletrônicos tornando-as responsáveis pelo monitoramento do ciclo de vida de seus produtos, especialmente em final de vida útil ou avarias irreparáveis. O resíduo gerado por produtos obsoletos é composto por uma grande variedade de materiais que podem ser recuperados por meio de processos de reciclagem.

A reciclagem pode recuperar cerca de 95% de materiais presentes em um equipamento de informática, a partir de periféricos como DVD-Rom, discos rígidos (HDs), ventiladores dentre outros (LADOU; LOVEGROVE, 2008). A reciclagem é um processo de recuperação de produtos que envolve técnicas de criação de novos materiais a partir de resíduos, gerando menor pegada de carbono, se comparada com aquela do processo produtivo de produto acabado (RAVI, 2011).

Neste contexto, a implantação de reciclagem e reuso dos resíduos eletrônicos pode levar a obtenção de ganhos ambientais e econômicos?

Portanto, esse estudo tem por objetivo avaliar os benefícios econômicos e ambientais obtidos na operação do centro de reciclagem e reuso de resíduos eletroeletrônicos de uma grande fabricante norte americana de computadores e periféricos para informática, situada em São Paulo.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: A seção 2 apresenta a revisão da literatura sobre a política nacional de resíduos sólidos e a reciclagem e reuso de materiais. A seção 3 aborda a metodologia de pesquisa utilizada. Na sequência é apresentado o estudo de caso caracterizando a empresa foco do estudo, o centro de reciclagem de resíduos eletrônicos e as vantagens econômicas e ambientais obtidas na operação de reciclagem e reuso desses materiais. O trabalho é finalizado com as discussões dos resultados da pesquisa, conclusões e recomendações para futuras pesquisas.



28 · 29 · 30  
de OUTUBRO

**XII SEGET**  
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
TEMA 2015  
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Nessa seção será conceituado sobre resíduos eletrônicos, política nacional de resíduos sólidos e reciclagem e reuso de materiais.

### 2.1 RESÍDUOS ELETRÔNICOS

O resíduo eletrônico é composto por diversos dispositivos e equipamentos que tiveram como finalidade auxiliar o usuário na resolução de problemas, reduzir distâncias, esforços e custos, porém perderam seu valor devido ao aparecimento de novas tecnologias. (WIDMER et al., 2005). Placa de circuito impresso é o principal componente que aparece no resíduo eletrônico, ela é a plataforma onde outros componentes como processadores, semicondutores e capacitores são montados e representam a base de todos os produtos eletrônicos (LADOU, LOVEGROVE, 2008).

Computadores e outros produtos eletrônicos são caracterizados no grupo dos bens de pós-consumo, tendo em vista o curto ciclo de vida útil de algumas semanas ou de muitos anos, após o que são descartados pela sociedade de diferentes maneiras (LEITE, 2003). A rápida evolução tecnológica e os consumidores ávidos por novidades nesta área têm provocado uma aceleração da obsolescência, por consequência o descarte de aparelhos que ainda são funcionais e que, do ponto de vista físico, não chegaram ainda ao final de sua vida útil (AGUIAR et al, 2014).

A produção global de resíduo eletrônico tende a mudar de acordo com o aparecimento de novas tecnologias, visto que os produtos eletrônicos são itens essenciais para a mais primitiva das economias (ROBINSON, 2009). Este cenário é preocupante, pois se os resíduos eletrônicos forem simplesmente descartados sem os devidos cuidados, podem causar potenciais danos ao meio ambiente e, conseqüentemente às pessoas.

### 2.2. POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

O problema do aumento do resíduo eletrônico é mundial, da mesma forma como o aumento no número de computadores utilizados. Assim como o consumo disseminado de computadores é recente, o surgimento de resíduos eletrônicos também é um fato novo (SANTOS, 2009).

O termo Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) tem maior relação com eletrodomésticos e outras aplicações elétricas que foram descartadas, ao passo que, o resíduo eletrônico descreve itens de informática, como computadores e outros periféricos (ROBINSON, 2009).

Entretanto, existe proximidade entre os dois termos, tendo em vista que muitos eletrodomésticos e veículos são equipados com placas de circuito, monitores LCD e fontes de alimentação ou baterias (KHÖELER; ERDMANN, 2004). Resíduos gerados por eletroeletrônicos são classificados em 3 categorias: grandes eletrodomésticos (geladeiras, máquina de lavar), tecnologia da informação (computadores e periféricos) e equipamentos de consumo (televisores, telefones celulares e equipamentos de lazer) (PERKINS et al, 2014).

O resíduo eletrônico é fisicamente distinto de outras formas de resíduo, tendo em vista que contém materiais tanto valiosos, quanto prejudiciais à saúde humana. Esses materiais precisam de métodos específicos de reciclagem para evitar danos ambientais (ROBINSON, 2009). É mais problemático que resíduos urbanos comuns, pois contém materiais potencialmente tóxicos, como metais pesados, retardadores de chamas e outros que ameaçam a qualidade do ambiente caso não sejam destinados corretamente (MILOVANTSEVA; SAPHORES, 2013).



28 · 29 · 30  
de OUTUBRO

**XII SEGET**  
SIMPÓSIO DE EXCELENCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
TEMA 2015  
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) têm, cada vez mais, recebido a atenção da sociedade, por se tratarem de resíduos que contêm uma grande variedade de materiais e muitos destes são potencialmente prejudiciais aos seres humanos e ao meio ambiente (SANTOS; NASCIMENTO; NEUTZLING, 2014).

Dentre as várias substâncias presentes no resíduo eletrônico, os metais pesados são motivos de preocupação especial, devido à sua toxicidade, mobilidade e dificuldade de biodegradação. Desconsiderando o solo, os recursos hídricos são muito sujeitos à contaminação por esses tipos de metais (WU et al, 2014).

O parágrafo VIII do artigo 3º da Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010 estabelece o conceito de disposição final ambientalmente adequada como, [...] distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos; (BRASIL, 2010). A contaminação ambiental em nível de solo, água e ar é o resultado direto que práticas inadequadas de disposição ou reciclagem de resíduo eletrônico podem causar (PERKINS et al, 2014).

### 2.3. RECICLAGEM E REUSO

A reciclagem é um conjunto de técnicas que têm por finalidade aproveitar os resíduos e reutilizá-los no ciclo de produção de onde foram originados ou em um ciclo de produção paralelo (SANTOS et al.; 2014). O processo de reciclagem inicia-se quando os produtos descartados são desmontados e suas partes são segregadas de acordo com a categoria dos materiais (THIERRY et al; 1995). Muitos resíduos podem ser transformados em subprodutos ou em matérias primas para outras linhas de produção (VALLE, 2002). A inovação exige a renovação da gestão e das estratégias para que exista um processo de mudança que pede novos recursos que, todavia, trarão grandes vantagens às empresas (KOBAYASHI, 2000).

Muitas empresas têm encontrado formas de recuperar e reutilizar os resíduos gerados, reduzindo a necessidade de aquisição de matéria-prima (CAIRNCROSS, 1992). Na China, por exemplo, mais de 100 plantas utilizam técnicas de reciclagem bem sucedidas, que podem servir de base para países menores minimizarem o impacto do resíduo eletrônico, recuperar recursos e melhorar o ambiente ecológico local (ZENG et al, 2014). Depois de recuperar os materiais por meio de diversos métodos de reciclagem, novos produtos podem ser fabricados, seguindo para mercados secundários ou fornecedores de periféricos de computadores (RAVI, 2011).

A Lei Nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, em seu capítulo II, art. 3º, parágrafo XIV define a reciclagem como o processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e, se aplicável, Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA).

Portanto, os processos de reciclagem do resíduo eletrônico tendem a ser um atraente nicho de negócios, não somente para as empresas fabricantes de produtos eletroeletrônicos, como para outros segmentos de produtos.

## 3. METODOLOGIA

Este estudo classifica-se como de natureza empírica, utilizada com o objetivo de conseguir informações e/ou conhecimentos acerca de uma hipótese que se queira comprovar



28 · 29 · 30  
de OUTUBRO

XII SEGET  
SIMPOSIÓ DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
TEMA 2015  
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



(MARCONI; LAKATOS, 2010). A abordagem é quantitativa, já que as variáveis serão analisadas por meio de valores mensuráveis (MARTINS, 2012). Trata-se de uma pesquisa exploratória, recomendado por Selltiz *et al* (1974) como passo inicial quando o conhecimento sobre o assunto não permite conclusões definitivas. O método adotado é o estudo de caso, desenvolvido em uma empresa do ramo de manufatura de equipamentos e componentes eletrônicos exclusivamente para o segmento de informática. O estudo de caso possibilita uma visão holística do cotidiano, destacando seu caráter empírico na investigação de fenômenos contemporâneos (YIN, 2010).

As informações necessárias para esta pesquisa foram obtidas por meio de observação no centro de reciclagem e reuso, onde foi possível entender os métodos de execução dos processos envolvidos na reciclagem do resíduo eletrônico. Esta técnica de coleta de dados permite o pesquisador buscar informações sobre suas questões de pesquisa, por meio da observação direta ou indireta das operações, atividades ou fenômenos relacionados ao estudo (MARCONI; LAKATOS, 2010). Também foi realizada uma entrevista com o profissional responsável, com o intuito de facilitar a compreensão de toda a operação. Marconi e Lakatos (2010) define entrevista como um encontro entre duas pessoas, para obter informação a respeito de um determinado assunto, mediante uma conversa de natureza profissional.

Foram levantados os investimentos realizados em infraestrutura, máquinas e mão-de-obra para calcular eventual ganho econômico (GE). Em seguida, é calculada a taxa percentual e o período de retorno sobre o investimento (ROI). A análise de ROI consiste na melhor maneira de se avaliar um grau de sucesso de um empreendimento por meio da divisão do lucro obtido em um período de tempo, dividido por um investimento, onde calcula-se o valor percentual (MARTINS, 2000).

A capacidade produtiva da empresa é de 360 toneladas de resíduos processados por mês, ocupando uma área de 3.600 m<sup>2</sup>. Os resíduos processados são oriundos de equipamentos eletrônicos obsoletos, como computadores, monitores, impressoras, concentradores de rede (*switches*), roteadores, *storages*, servidores de qualquer porte dentre outros. Os valores estão expressos em quilogramas e foram utilizados nos cálculos para avaliação do ganho ambiental.

O levantamento e coleta dos valores de resíduos eletrônicos para o cálculo da avaliação ambiental é embasado em Oliveira Neto (2010), por meio da ferramenta *Mass Intensity Factors* (MIF). O MIF considera a massa (M) e o *Intensity Factor* (IF) como variáveis da equação 1:

$$\text{MIF} = (\text{M} \times \text{IF}) \quad \text{Eq.01}$$

O MIF permite mensurar o impacto ambiental no que diz respeito ao consumo de materiais abióticos, bióticos, água e ar, cada um deles, agrupado em forma de compartimento (RITTHOFF *et al.*, 2003). O compartimento biótico abrange um conjunto de todos os organismos vivos como plantas e decompositores, já o abiótico é um conjunto de fatores não vivos de um ecossistema que atuam no meio biótico, são métricas como temperatura, pressão, pluviosidade de relevo, etc (ODUM, 1998).

O cálculo de redução do impacto ambiental é obtido multiplicando-se o fator de cada compartimento abiótico (w), biótico (x), água (y), ar (z) pela respectiva massa do material que se deseja saber. A equação 2 descreve o cálculo total de cada compartimento:

$$\text{MIC} = (\text{IF } A_w + \text{IF } B_w + \text{IF } C_w + \dots + \text{IF } N_w) \quad \text{Eq.02}$$

Onde:

IF  $A_w$  é o fator de intensidade do resíduo A no compartimento abiótico (w)

IF  $B_w$  é o fator de intensidade do resíduo B no compartimento abiótico (w)



28 · 29 · 30  
de OUTUBRO

**XII SEGET**  
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
TEMA 2015  
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



IF  $C_w$  é o fator de intensidade do resíduo C no compartimento abiótico (w)

IF  $N_w$  é o fator de intensidade do resíduo N no compartimento abiótico (w)

\*exemplo de MIC para o compartimento abiótico (w), idem para os demais.

A soma dos recursos de todos os compartimentos permite calcular o *Mass Intensity Total* (MIT), conforme descrito na equação 3:

$$\text{MIT} = (\text{MIC}_w + \text{MIC}_x + \text{MIC}_y + \text{MIC}_z + \dots + \text{MIC}_n) \quad \text{Eq.03}$$

Para comparar o ganho econômico com o ganho ambiental, foi utilizado o índice de ganho econômico (IGE) e o índice de ganho ambiental (IGA), descritos nas equações 4 e 5, respectivamente:

$$\text{IGE} = (\text{MTE} / \text{GE}) \quad \text{Eq.04}$$

$$\text{IGA} = (\text{MIT} / \text{GE}) \quad \text{Eq.05}$$

Os produtos eletrônicos são constituídos de diversos componentes, que em geral são compostos por materiais plásticos, metais e cerâmicos. A tabela 1 apresenta estes materiais e seus respectivos fatores MIF em cada um dos compartimentos. Ressalta-se que foram considerados todos os inputs e outputs do processo de reciclagem e reuso pesquisado, incluindo o consumo de energia elétrica e água.

**Tabela 1 – Material Intensity Factors utilizados no trabalho.**

NOME	ABIÓTICO	BIÓTICO	ÁGUA	AR
Plástico ABS	3,97		206,89	3,75
Ferro	21,58		504,86	5,07
Vidro	2,95		11,65	0,74
Cobre	348,47		367,16	1,60
Estireno/butadiene	5,70		146,00	1,65
Ferrite (molibdenio)	748,00		1.286,00	9,50
Aço inoxidável	9,42		75,38	0,65
Aço de baixa liga (reciclado)	1,47		58,76	0,52
Prata	7.500,00		0,00	0,00
Ouro	540.000,00		0,00	0,00
Paládio	320.301,00		192.728,00	13.772,00
Alumínio comum	18,98		539,21	5,91
Alumínio fundido	8,11		234,13	2,93
Alumínio forjado	23,80		627,00	7,20
Níquel	141,29		233,34	40,83
Chumbo	18,12		135,80	2,28
Estanho	8.486,00		10.958,00	149,00
Zinco	23,10		0,00	0,00
Polipropilenos	2,09		35,80	1,48
Poliestirenos	2,51		164,04	2,80
Policarbonatos	6,94		212,19	4,70
PVC	3,47		305,29	1,70
Cerâmica	2,11		5,74	0,05
Papelão	1,86	0,75	93,56	0,33
Fibra de vidro (resistiva)	10,84		296,25	2,01
Energia elétrica	3,15	0,04	57,64	0,514
Água	0,01		1,30	0,00

Fonte: Wuppertal Institute, 2014.



28 · 29 · 30  
de OUTUBRO

**XII SEGET**  
SIMPÓSIO DE EXCELENCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
TEMA 2015  
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



## 4. ESTUDO DE CASO

Esta seção aborda a apresentação da empresa foco do estudo, o centro de reciclagem e reuso de resíduos eletrônicos, os desdobramentos dos cálculos econômico e de impacto ambiental, finalizando com a comparação dos ganhos da reciclagem destes resíduos.

### 4.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A empresa foco deste estudo é uma multinacional norte americana de grande porte situada em São Paulo. Ela atua no segmento de manufatura de componentes e dispositivos eletrônicos para informática, responsável pela fabricação e montagem de computadores, impressoras, servidores e periféricos de informática de pequeno, médio e grande porte. A empresa desenvolveu o primeiro ecossistema integrado de soluções sustentáveis voltado para o mercado de produtos eletrônicos do Brasil, por meio de um centro de reciclagem e reuso, onde são feitos todos os processos de reciclagem de resíduo eletrônico. Como diferenciais, a empresa integra práticas educacionais e sociais, de modo a promover possibilidades de aprimoramento e crescimento profissional por meio de especializações no mercado de tecnologia verde e sustentabilidade, criando oportunidades de inclusões sociais e categorias para ampliação de serviços que possam agregar valor na indústria, na sociedade e gerar maior qualidade de vida a todos.

### 4.2. CENTRO DE RECICLAGEM E REUSO DE RESÍDUO ELETRÔNICO

O centro de reciclagem e reuso de resíduo eletrônico está situado na própria área da planta produtiva da empresa, que compreende uma área de 3.600 m<sup>2</sup>, com toda a infraestrutura de maquinário, segurança do trabalho e pessoal capacitado para desenvolver os processos de recepção, desmonte e tratamento dos resíduos. O centro é totalmente provido pela tecnologia RFID (Radio-Frequency IDentification), que permite identificar todas as características de cada produto que é recebido na doca, resumindo-as em relatórios de controle para seu próprio uso, ao término dos processos. Dentro do centro, todos os processos foram observados e compreendidos pelo pesquisador, por meio de visualização e anotações, tendo em vista que a empresa não permite nenhum tipo de equipamento eletrônico como celulares, câmeras fotográficas ou relógios. As máquinas, equipamentos, ferramentais e dispositivos observados, compreendem:

- Equipamentos para a moagem de plásticos: esteira de separação, esteira de alimentação, moinho, lavadora, tanque de descontaminação, secadora, silo de armazenagem, painel elétrico de controle.
- Equipamentos para processamento dos plásticos: extrusora, banheira para resfriamento, granuladora e exaustor para a secagem de monofilamentos.





28 · 29 · 30  
de OUTUBRO

**XII SEGET**  
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
TEMA 2015  
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



- Equipamentos complementares: afiador de facas, parafusadeiras elétricas, alicates, morsas, prateleiras, esteiras rolantes, bancadas móveis para desmontagem, sacos para armazenagem de até 1.5 toneladas resíduos.
- Equipamentos para a movimentação: empilhadeiras elétricas e semi elétricas.

A capacidade produtiva da empresa é de 360 toneladas de resíduos por mês. O entrevistado informou que, atualmente, a quantidade processada corresponde a 30% da capacidade total, ou seja, em torno de 120 toneladas mensais. A empresa possui contrato firmado com uma grande marca de equipamentos para informática no que tange a coleta dos equipamentos obsoletos diretamente nos clientes, para que estes sejam transportados ao centro de reciclagem e reuso.

O processo tem início no descarregamento da carga na doca de recebimento. Na sequência, os materiais são encaminhados para um processo de separação primária, onde são segregados papel e papelão utilizados nas embalagens. Computadores, impressoras e outros equipamentos de informática seguem o fluxo para a desmontagem, onde são removidos e segregados todos os seus componentes de acordo com o tipo de material: plásticos, placas de circuito impresso, vidros, metais dentre outros. No caso das placas de circuito impresso, o processo de separação tende a ser mais complexo pela variedade de componentes eletrônicos soldados que formam os circuitos.

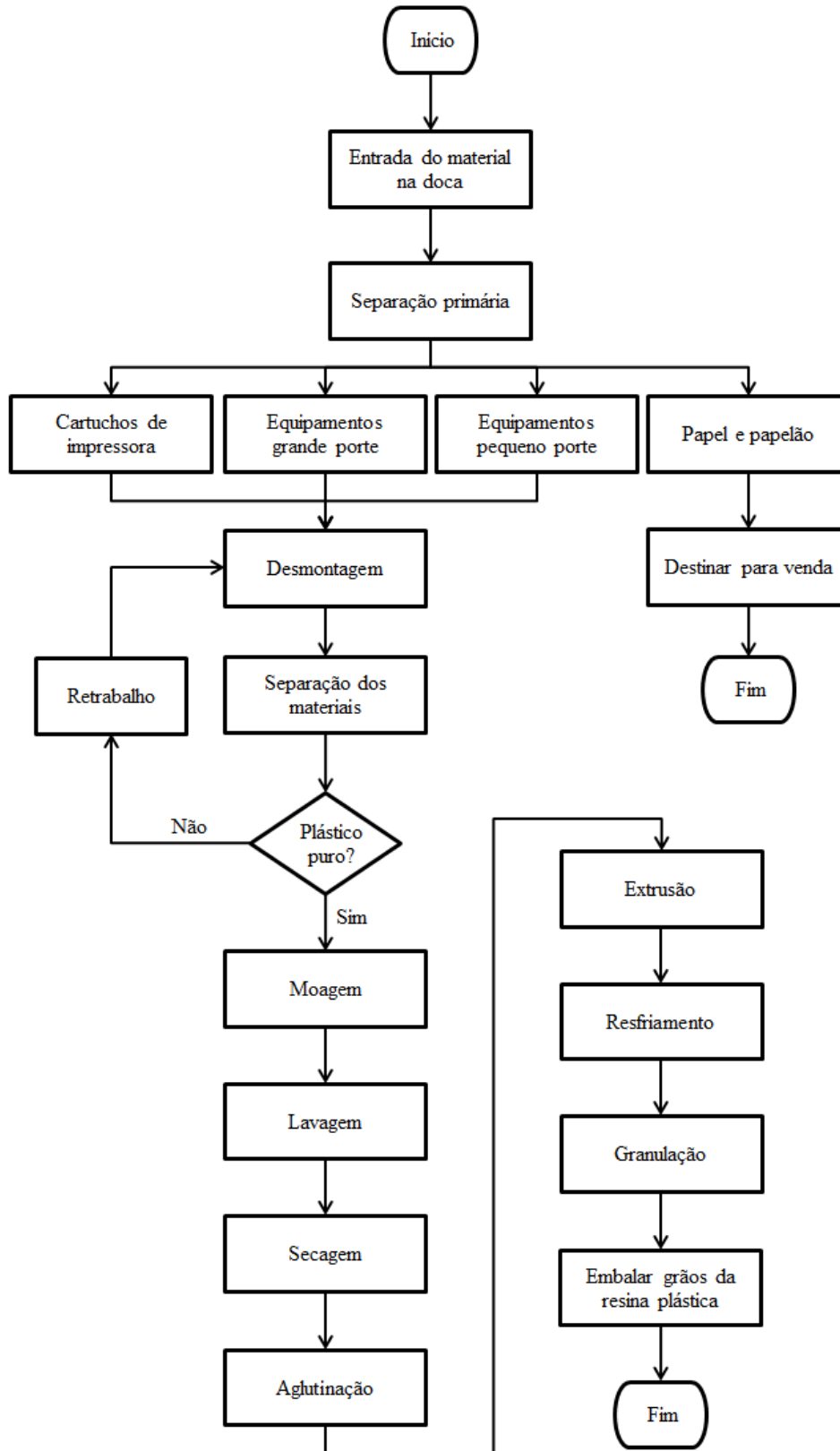
Os cartuchos de tinta e toner são removidos das impressoras e destinados a um setor específico que faz a separação de metais, borrachas, rótulos e circuitos eletrônicos. Equipamentos de pequenos e grandes portes são encaminhados para bancadas próprias. A desmontagem é feita manualmente e tem a finalidade de segregar todos os componentes dos equipamentos.

Os plásticos passam por uma avaliação minuciosa para certificar-se que não há nenhum tipo de metal, rótulos ou borrachas e, em caso positivo, são separados por cores, em sua maioria branca, cinza e preta. Plásticos com impurezas são separados para retrabalho. Na etapa seguinte, os plásticos brancos passam por um processo de moagem, seguidos pelos plásticos cinza e pretos. Finalizado esta etapa, os plásticos brancos são submetidos a um processo de lavagem para eliminar todas as manchas e garantir a pureza adequada na geração de matéria-prima. Para plásticos cinza e pretos, o processo de lavagem é comum. A água utilizada na lavadora é de reuso e tratada após cada processo. Os resíduos lavados seguem para um processo de breve secagem e são enviados para o processo de aglutinação para ser homogeneizado e enviado à extrusora. Após o processo de extrusão, o material é resfriado com água corrente e de reuso, para ser enviado à granuladora.

Os grãos de resina plástica produzidos com o material reciclado são utilizados na fabricação de um equipamento eletrônico novo. Os demais resíduos como placas de circuitos, vidros e metais são vendidos para seus parceiros.



Figura 1: Fluxograma do processo de reciclagem dos resíduos eletrônicos





28 · 29 · 30  
de OUTUBRO

**XII SEGET**  
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
TEMA 2015  
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



Fonte: Elaborado pelo autor

É importante acrescentar que o centro de reciclagem tem como foco a gestão da logística reversa de produtos eletrônicos de uma grande marca mundial de computadores e outros equipamentos de informática, entretanto, equipamentos eletrônicos obsoletos de outras marcas concorrentes podem ser recebidos, desde que seja feito ajuste nos cálculos logísticos e apresentado ao cliente.

#### 4.3. VANTAGEM ECONÔMICA OBTIDA COM A CRIAÇÃO DO CENTRO DE RECICLAGEM E REUSO

Foram levantados os custos com aquisição de matéria-prima para fabricação das partes plásticas de novos equipamentos eletrônicos e comparados com o custo do plástico reciclado. Desta forma, foi obtido o valor de R\$3.286.080,00 de economia para a empresa, que deixa de comprar a matéria-prima virgem. Também foram verificados os preços praticados no mercado com a venda dos demais resíduos para parceiros, totalizando R\$ 1.069.734,01. O custo anual de energia elétrica totalizou R\$ 840.000,00 e o valor de consumo de água anual foi de R\$ 14.400,00 que caracteriza uma economia total de R\$ 3.501.414,01. Os valores detalhados estão expressos na tabela 2:

**Tabela 2:** Cálculo da vantagem econômica anual do processo de reciclagem e reuso da empresa pesquisada

Ganhos com o processo		
Descrição	Sem reciclagem / reuso	Com reciclagem / reuso
Plásticos	R\$ 0,00	R\$ 3.286.080,00
Placas de circuito impresso	R\$ 0,00	R\$ 950.400,00
Ferro	R\$ 0,00	R\$ 28.800,00
Alumínio	R\$ 0,00	R\$ 17.896,03
Cobre	R\$ 0,00	R\$ 56.064,73
Aço inoxidável	R\$ 0,00	R\$ 2.173,25
Vidro	R\$ 0,00	R\$ 12.240,00
Papelão	R\$ 0,00	R\$ 2.160,00
<b>Receita Bruta</b>	<b>R\$ 0,00</b>	<b>R\$ 4.355.814,01</b>
Custos com o processo		
Energia elétrica		R\$ 840.000,00
Água		R\$ 14.400,00
<b>Custo Total</b>		<b>R\$ 854.400,00</b>
<b>Receita Líquida</b>		<b>R\$ 3.501.414,01</b>

Fonte: Dados da empresa

O investimento necessário em máquinas, infraestrutura e mão-de-obra foi de R\$ 4.413.700,00. Dessa forma, a rentabilidade sobre o investimento (ROI) é 51,1 % ao ano e o período para retorno do capital investido é de 30 meses.

#### 4.4. VANTAGEM AMBIENTAL OBTIDA COM A CRIAÇÃO DO CENTRO DE RECICLAGEM E REUSO

Para a análise ambiental foram considerados todos os insumos presentes no resíduo eletrônico. A unidade de medida considerada foi o quilograma e o *Mass Intensity per Compartment* (MIC) foi obtido multiplicando-se a quantidade de cada insumo pelo seu



28 · 29 · 30  
de OUTUBRO

**XII SEGET**  
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
TEMA 2015  
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



respectivo *Mass Intensity Factor* (MIF). O *Mass Intensity Total* (MIT) foi obtido por meio da soma do MIC dos compartimentos abiótico, biótico, água e ar.

Salienta-se que o consumo de energia elétrica e água são mensurados como impacto negativo, ou seja, utiliza recursos da natureza. Desta forma, conforme pode ser observado o valor de energia elétrica e água subtrai dos demais componentes que denotam redução do impacto ambiental, conforme tabela 3.

**Tabela 3** – Vantagens ambientais obtidas com a reciclagem e reuso

Componentes	Massa Annual (Kg)	Abiótico	Biótico	Água	Ar	Redução anual (Kg)
Plásticos ABS	1.009.740,816	4.008.671,040		208.905.277,422	3.786.528,060	216.700.476,522
Ferro	149.882,976	3.234.474,622		75.669.919,263	759.906,688	79.664.300,574
Vidro	72.000,000	212.400,000		838.800,000	53.280,000	1.104.480,000
Cobre	50.208,091	17.496.013,540		18.434.402,765	80.332,946	36.010.749,251
Borracha	7.200,000	41.040,000		1.051.200,000	11.880,000	1.104.120,000
Ferrite	1.886,544	1.411.134,912		2.426.095,584	17.922,168	3.855.152,664
Aço inoxidável	1.086,624	10.235,998		81.909,717	706,306	92.852,021
Aço baixa liga	100.729,728	148.072,700		5.918.878,817	52.379,459	6.119.330,976
Prata	26,928	201.960,000		0,000	0,000	201.960,000
Ouro	4,752	2.566.080,000		0,000	0,000	2.566.080,000
Paládio	1,584	507.356,784		305.281,152	21.814,848	834.452,784
Alumínio	2.897,136	54.987,641		1.562.164,703	17.122,074	1.634.274,418
Alumínio fund.	4.142,160	33.592,918		969.803,921	12.136,529	1.015.533,367
Alumínio forj.	1.908,720	45.427,536		1.196.767,440	13.742,784	1.255.937,760
Níquel	205,920	29.094,437		48.049,373	8.407,714	85.551,523
Chumbo	107,712	1.951,741		14.627,290	245,583	16.824,614
Estanho	318,384	2.701.806,624		3.488.851,872	47.439,216	6.238.097,712
Zinco	421,344	9.733,046		0,000	0,000	9.733,046
Polipropileno	14.330,448	29.950,636		513.030,038	21.209,063	564.189,738
Policarbonato	8.222,544	57.064,455		1.744.741,611	38.645,957	1.840.452,024
PVC	1.412,928	4.902,860		431.352,789	2.401,978	438.657,627
Cerâmica	460,152	970,921		2.641,272	23,008	3.635,201
Papel / papelão	7.200,000	13.392,000	5.400,00	673.632,000	2.376,000	694.800,000
Fibra de vidro (resistiva)	807,840	8.756,986		239.322,600	1.623,758	249.703,344
Energia elétrica	187.210,826	-589.714,102	-7.488,43	-10.790.832,011	96.226,365	-11.484.260,
Água	200.000	-2.000		-260.000	0,00	-262.000,000
<b>MIC (anual)</b>		<b>32.237.357,296</b>	<b>-2.088,43</b>	<b>313.465.917,619</b>	<b>4.853.897,772</b>	
<b>MIT (anual)</b>						<b>350.555.084,257</b>
<b>MTE (anual)</b>						<b>1.822.414,157</b>

Fonte: Dados da empresa

Portanto, com o alto consumo de energia elétrica pode notar na tabela 3, especificamente no compartimento biótico, que o total da intensidade é negativo (-2088,43), denotando que uma empresa de reciclagem e reuso apesar de contabilizar redução de impacto ambiental equivalente a 350.555.084,257 Kg, que não são dispensados na natureza é uma indústria que consumo bastante recursos naturais, que atualmente no Brasil estão escassos, que o caso da energia elétrica e água.



28 · 29 · 30  
de OUTUBRO

**XII SEGET**  
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
TEMA 2015  
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



#### 4.5. COMPARAÇÃO DAS VANTAGENS ECONÔMICAS E AMBIENTAIS

A criação do centro de reciclagem e reuso apontou ganho econômico (GE) anual de R\$ 3.501.414,01 com a produção de matéria-prima plástica para uso em sua própria manufatura e a venda dos demais resíduos para seus parceiros. O benefício ambiental obtido por meio do MIT também é evidente, apontando 350.555.084,257 kg de material que não é modificado nem retirado dos ecossistemas. A economia total de material (MTE) foi de 1.822.414,157 kg. Dessa forma, os índices de ganho econômico e ambiental são os seguintes:

$$\text{IGE} = \text{MTE} / \text{GE} = 0,520 \text{ kg/R\$}$$

$$\text{IGA} = \text{MIT} / \text{GE} = 100,12 \text{ kg/R\$}$$

Para o IGE, cada Real economizado corresponde a 0,520 kg de material. O IGA abrange a escala global, neste caso, para cada Real economizado há um benefício de 100,12 kg de material que não é modificado nem retirado dos ecossistemas.

#### 5. CONCLUSÃO

O aumento da geração de resíduo eletrônico é um fato presente e que tende a continuar tendo em vista o rápido avanço de novas tecnologias. Os equipamentos eletrônicos de informática são compostos por diversos materiais que, por sua vez, demandam consideráveis recursos ambientais para serem fabricados. Assim sendo, ao término de vida útil, não só o produto eletrônico é descartado, mas também todos os recursos naturais utilizados em sua produção. Se o descarte for em aterros, juntamente com resíduo de outras categorias, em contato com agentes climáticos passam a contaminar o solo e os rios, representando riscos às pessoas. Com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, as empresas fabricantes de computadores e periféricos de informática passam a ser responsáveis pela gestão de seus produtos por todo o ciclo de vida.

Este estudo explorou a operação de um centro de reciclagem e reuso em uma empresa norte americana, fabricante de computadores e periféricos de informática que coleta seu próprio resíduo eletrônico nas empresas que utilizam seus produtos e promove a descaracterização total de seus componentes e reciclagem de todo o material plástico para produção de peças plásticas novas. A empresa conta ainda com parceiros que compram o restante dos resíduos, como placas de circuito impresso, ferro, cobre e vidro, agregando mais valor ao processo global.

Os resultados econômicos e ambientais apontaram ganhos consideráveis, caracterizando um nicho de negócio promissor. Os números demonstram o atraente ganho econômico, o retorno do investimento em um prazo relativamente curto e, principalmente, a prática de reaproveitar todo o resíduo plástico para uso em sua própria linha produtiva, que está localizada no mesmo local. Deve-se levar em consideração que os ganhos econômicos podem ser potencializados, já que atualmente o centro atua com apenas 30% de sua capacidade total.

No que tange as vantagens ambientais, o ganho é ainda maior. A reciclagem contribui para minimizar o uso de toneladas de matéria virgem e recursos naturais necessários na fabricação de novos equipamentos. O descarte de resíduos no meio ambiente também diminui, mitigando os riscos para os ecossistemas.

Como sugestão para pesquisas futuras, é interessante avaliar a possibilidade de expansão das atividades de reciclagem com foco nas placas de circuito impresso e também de



28 · 29 · 30  
de OUTUBRO

**XII SEGET**  
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
TEMA 2015  
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



vidros dentro do próprio centro de reciclagem, reduzindo a quantidade desse material que é repassada para os parceiros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL.** Logística reversa de equipamentos eletrônicos: análise de viabilidade técnica e econômica. Brasília, nov. 2012.

**AGUIAR, A. O., KNISS, C.T., GRAUNDEZ, G. S., GALLARDO, A.L. C. F.; RIELLA, H.G.** A Política Nacional de Resíduos Sólidos e os resíduos da indústria de eletro eletrônicos. In: O setor de eletro eletrônicos: aspectos técnicos, econômicos, regulatórios e ambientais. São Paulo: UNINOVE, 2014, cap. 2.

**BRASIL.** Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm)>. Acesso em 02/06/2015.

**BRASIL.** Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em 02/06/2015.

**CAIRNCROSS, F.** Meio ambiente: custos e benefícios. São Paulo: Nobel, 1992.

**DEMAJOROVIC, J.; MIGLIANO, J.E.B.** Política Nacional de Resíduos Sólidos e suas implicações na cadeia de logística reversa de microcomputadores no Brasil. Gestão & Regionalidade, São Paulo, v. 29, n. 87, set.-dez. 2013, pp. 64-80.

**GMÜNDER, S.** Recycling – from waste to resource: Assessment of optimal manual dismantling depth of a desktop PC in China based on eco-efficiency calculations. 2007. 124 f. Tese (Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Swiss Federal Institute of Technology Zurich. Switzerland, 2007.

**KHÖLER, A., ERDMANN, L.** Expected environmental impacts of pervasive computing. Human and Ecological Risk Assessment. v. 10, nº 5, 2004, pp. 831-852.

**KOBAYASHI, S.** Renovação da logística: como definir as estratégias da distribuição física global. São Paulo: Atlas, 2000.

**LADOU, J., LOVEGROVE, S.** Export of electronics equipment waste. International Journal of Occupational and Environmental Health. Division of Occupational And Medicine, University of California School of Medicine, San Francisco, Vol. 14, nº 1, 2008, pp.1-10.

**LEITE, P.R.** Logística reversa: meio ambiente e competitividade. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

**MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M.** Fundamentos de metodologia científica. 7. ed. São Paulo, Atlas, 2010.

**MARTINS, E.** Contabilidade de custos. 7ª ed., São Paulo: Atlas, 2000.

**MARTINS, R.A.** Abordagens quantitativa e qualitativa. In: CAUCHICK MIGUEL, P.A.C. (Coord.). Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. 2. ed. São Paulo: Elsevier, 2012.

**MILOVANTSEVA, N., SAPHORES, JEAN-DANIEL.** E-waste bans and U.S. households' preferences for disposing of their e-waste. Journal of Environmental Management, Vol. 124, 2013, pp. 8-16.

**ODUM, E. P.** Ecologia. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998.

**OLIVEIRA NETO, G. C. de; CHAVES, L. E. de C.; VENDRAMETTO, O.** Vantagens econômicas e ambientais na reciclagem de poliuretano em uma empresa de fabricação de borracha. Exacta, São Paulo, v. 8, n. 1, 2010, pp.65-80.

**PERKINS, D.N.; DRISSE, MARIE-NOEL B.; NXELE, Tapiwa; SLY, Peter D.** E-waste: a global hazard. Icahn School of Medicine at Monte Sinai. Annals of Global Health, 2014, pp. 286-295.



28 · 29 · 30  
de OUTUBRO

**XII SEGET**  
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
TEMA 2015  
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



**PESQUISA ANUAL DO USO DE TI DA FGV EAESP.** 26ª Edição, São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://eaesp.fgvsp.br/ensinoeconhecimento/centros/cia/pesquisa>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

**QU, Y., ZHU, Q., SARKIS, J., GENG, Y., ZHONG, Y.** A review of developing an e-wastes collection system in Dailan, China. *Journal of Cleaner Production*, 52, 2013, pp. 176-184.

**RAVI, V.** Evaluating overall quality of recycling of e-waste from end-of-life computers. *Journal of Cleaner Production*, v. 20, 2011, pp. 145-151.

**RITTHOFF, M.; ROHN, H.; LIEDTKE C.** Calculating MIPS: Resources productivity of products and services. *Wuppertal Spezial* 27e: 8-25, 2003.

**ROBINSON, B. H.** E-waste: an assessment of global production and environmental impacts. *Science of the Total Environment* 185, 2013, pp 183-191.

**SANTOS, C.A.F., NASCIMENTO, L. F. M., NEUTZLING, D. M.** A gestão dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) e as consequências para a sustentabilidade: as práticas de descarte dos usuários organizacionais. *Revista Capital Científico – Eletrônica (RCCe)*, Vol. 12, nº 1, 2014, pp. 1-18.

**SANTOS, E.F., SOUZA, M. T.** Um estudo das motivações para a implantação de programas de logística reversa de microcomputadores. *Revista Eletrônica de Ciência Administrativa (RECADM)*, São Paulo, v. 8, n. 2, nov. 2009, pp. 137-150.

**SANTOS, M. R., SHIBAO, F. Y., MOORI, R.G.; TEIXEIRA, C. E.** A logística reversa e sua importância na remanufatura e reciclagem de eletro eletrônicos. In: *O setor de eletro eletrônicos: aspectos técnicos, econômicos, regulatórios e ambientais*. São Paulo: UNINOVE, 2014, cap. 3.

**SELLTIZ, C.** Métodos de pesquisa nas relações sociais. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1974. 687p.

**VALLE, C. E.** Qualidade ambiental: ISO 14000. São Paulo: SENAC, 2002.

**YIN, R.K.** Estudo de caso: planejamento e métodos. 2. São Paulo, Ed. Bookman, 2010.

**WIDMER, R., OSWALD-KRAPF, H., SINHA-KHETRIWAL, D., SCHNELLMANN, M; BÖNI, H.** Global perspectives on e-waste. *Science of the Total Environment*. Vol. 438, 2005, pp436-458.

**WU, Q., LEUNG, J.Y.S., GENG, X., CHEN, S., HUANG, X., LI, H; HUANG, Z., ZHU, L., CHEN, J., LU, Y.** Heavy metal contamination of soil and water in the vicinity of na abandoned e-waste recycling site: implications for dissemination of heavy metals. *Science of the Total Environment*, vol. 506/507, 2014, pp. 217-225.

**WUPPERTAL, Institute.** Calculating MIPS, resources productivity of products and services. Disponível: <[http://wupperinst.org/uploads/tx\\_wupperinst/MIT\\_2014.pdf](http://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/MIT_2014.pdf)> Acesso em: 26 Abr. 2015.

**THIERRY, M.; SALOMON, M.; NUNEN, Jo V.; WASSENHOVE, L.** Van. Strategic issues in product recovery management. *California Management Review*, v. 37, nº 2, 1995, pp. 114-135.

**ZENG, X., SONG, Q., LI, J., YUAN, W., DUAN, H., LIU, L.** Solving e-waste problem using an integrated mobile recycling plant. *Journal of Cleaner Production*. v. 90, 2014, pp. 55-59.