

Estimativa da geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos de origem domiciliar: proposição de método e aplicação ao município de São Paulo, São Paulo, Brasil

Evaluation of Waste of Electric and Electronic Equipments generation from households: proposal of method and application to the City of São Paulo, Brazil

Angela Cassia Rodrigues¹, Wanda Maria Risso Gunther², Maria Eugenia Gimenez Boscov³

RESUMO

Conhecer a geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) é fundamental para sua gestão. O fluxo domiciliar de EEE é complexo, pois tem seu descarte associado a fatores tecnológicos, econômicos e comportamentais. O artigo apresenta método para estimativas de REEE de origem domiciliar: estoque de equipamentos em uso, armazenados e descartados, e do potencial de geração de resíduos. O método aplicado ao município de São Paulo, São Paulo, resultou em 71,9 milhões de EEE, dos quais 8,8 milhões (12,2%) fora de uso. O valor médio de EEE correspondeu a 18,2 EEE por domicílio; média *per capita* de 5,3 EEE por habitante. A média de descarte *per capita* estimada resultou em 4,8 kg.hab⁻¹.ano⁻¹. O potencial de geração de resíduos a partir dos EEE fora de uso variou entre 2,9 a 6,0 kg.hab⁻¹.ano⁻¹. O método proposto proporcionou qualidade às estimativas, resultando em importantes indicadores para a gestão.

Palavras-chave: resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE); gerenciamento de REEE; fluxo domiciliar; estimativa de geração.

ABSTRACT

Evaluation of the generation of Waste of Electric and Electronic Equipment (WEEE) is fundamental to waste management. Discard of household flow is complex because is associated to technologic, economic and behavioral factors. This paper presents a method to estimate household-originated WEEE: stock of equipment in use, stored and discarded, as well as potential generation of waste. The proposed method applied to the city of Sao Paulo, Brazil, resulted in the total amount of 71.9 million EEE, 8.8 million of which (12.2%) are out of service. Average values were estimated: 18.2 EEE per household and 5.3 EEE per inhabitant. Average discharge *per capita* resulted in 4.8 kg.inhabitant⁻¹.year⁻¹. Potential of generated waste based on out-of-service EEE varies from 2.9 to 6.0 kg.inhabitant⁻¹.year⁻¹ depending on the adopted scenario. The method added quality to the estimates of important indicators for WEEE management.

Keywords: waste electrical and electronic equipment (WEEE); WEEE management; household flow; generation estimate.

INTRODUÇÃO

Na perspectiva da responsabilidade pós-consumo, destaca-se a Logística Reversa¹ (LR), importante instrumento proposto pela Política Nacional de

¹LR (PNRS, 2010) - 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.

Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal 12.305 (BRASIL, 2010). A PNRS determina que a cadeia constituída pelos produtores, importadores, distribuidores e comerciantes de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (EEE) é responsável pela implantação da LR de produtos pós-consumo.

Os Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) são complexos devido à presença de substâncias perigosas e gerados de forma difusa; entretanto, apresentam possibilidade de valorização.

Trabalho realizado na Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (USP) - São Paulo (SP), Brasil.

¹Doutora em Ciências pela USP. Pós-doutoranda no Programa de Pós-graduação em Saúde Global e Sustentabilidade (PPGSGS) da USP - São Paulo (SP), Brasil.

²Doutora em Saúde Pública pela USP. Professora Associada da Faculdade de Saúde Pública da USP - São Paulo (SP), Brasil.

³Doutora em Engenharia de Solos pela USP. Professora Titular da Escola Politécnica da USP - São Paulo (SP), Brasil.

Endereço para correspondência: Angela Cassia Rodrigues - Avenida Dr. Arnaldo, 715 - 01246-904 - São Paulo (SP), Brasil - E-mail: angelacassia@usp.br

Recebido: 17/04/14 - **Aceito:** 19/12/14 - **Reg. ABES:** 133701

Atualmente, na ausência de sistemas de gestão no país, são predominantemente destinados ao setor informal de reciclagem. O estabelecimento de um processo de reciclagem industrial requer um sistema de coleta eficiente, o qual se configura como um aspecto de difícil implantação, uma vez que sua eficiência depende da cooperação da população, indústria, distribuidores e governo (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

O conhecimento do perfil de geração e descarte dos REEE, nos âmbitos local, regional e nacional, é de fundamental importância para o planejamento e implantação da LR, assim como para a concepção de um sistema de gestão eficaz, que minimize os prejuízos ambientais e socioeconômicos decorrentes do descarte, tratamento e disposição final inadequados.

A geração dos REEE é de complexa caracterização, por ser dinâmica no tempo e também por estar intrinsecamente relacionada a diversos fatores, como desenvolvimento tecnológico, economia, políticas governamentais, estratégias da indústria para a comercialização e comportamento dos usuários em relação à substituição/compra e manutenção dos equipamentos (COOPER, 2004; FRANCO & LANGE, 2011; ARAUJO *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2012; RODRIGUES, 2012; MILOVANTSEVA & SAPHORES, 2013).

As duas principais origens de geração de REEE são: institucional e domiciliar, definindo fluxos distintos. O fluxo institucional compreende os REEE provenientes de instituições públicas ou privadas, incluindo empresas de diversas áreas, enquanto que o fluxo domiciliar corresponde aos REEE gerados nas residências, no âmbito do domicílio.

Estudos diversos têm sido realizados em outros países para diagnosticar a geração dos REEE, utilizando métodos geralmente baseados em estimativas de vendas, tempos de vida útil e pesos médios (OGUCHI *et al.* 2008; MATTHEWS, 1997; EEA, 2003; PERALTA & FONTANOS, 2006). Widmer *et al.* (2005) citam alguns desses métodos:

1. método do uso e consumo: baseado na extrapolação da quantidade média de REEE em um domicílio típico;
2. método do suprimento de mercado (*market supply method*): que utiliza dados de produção e venda de determinada região;
3. método “velho por novo”, aplicado na Suíça: assume que para cada REEE vendido, um antigo chega ao fim de vida útil.

No entanto, esses estudos desconsideram a complexidade do fluxo domiciliar. Os REEE domiciliares não possuem um tempo pré-determinado para seu descarte, estando sujeitos ao fenômeno da armazenagem², antes de serem destinados por seus proprietários.

Os REEE de origem institucional em sua maioria são representados por computadores, substituídos em períodos relativamente regulares, seguindo um tempo médio de obsolescência.

²Prática dos indivíduos guardarem equipamentos obsoletos e avariados em suas residências, devido à carência de opções de destinação e também por esperarem uma oportunidade futura para obter algum retorno financeiro por um bem no qual houve um investimento inicial importante.

No Brasil, não há estatísticas oficiais sobre a geração de REEE. Estudo realizado por Rodrigues (2007) indicou o potencial médio de geração *per capita* para o Brasil de 2,6 kg.hab.⁻¹.ano⁻¹, enquanto que estudos da FEAM (2009) e Araújo *et al.* (2012) resultaram em, respectivamente, 3,4 kg.hab.⁻¹.ano⁻¹ e 3,8 kg.hab.⁻¹.ano⁻¹. A primeira estimativa foi realizada a partir de dados secundários sobre vendas disponíveis, levantados a partir de distintas fontes, levando a uma aproximação apenas exploratória do indicador. A segunda utilizou a Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios (PNAD) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que levanta a presença de apenas oito tipos de EEE no domicílio, não considerando a quantidade por tipo, enquanto a terceira estimativa baseou-se em sete tipos de EEE. Estimativa do passivo ambiental de REEE para o município de Belo Horizonte (MG), realizada também a partir de dados da PNAD do IBGE para os refrigeradores e congeladores, aparelhos de televisão, computadores e telefones celulares, aponta que até o ano de 2023 haverá aproximadamente 1,66 milhões de equipamentos em fim de vida útil para serem descartados naquele município (FRANCO & LANGE, 2011). Métodos utilizados em outros países apresentam restrições para aplicação à realidade brasileira, devido à indisponibilidade de dados de vendas no país para todas as categorias de EEE.

O presente artigo foca o fluxo de EEE de origem domiciliar, apresentando um método para cálculo de estimativas e sua aplicação a um caso (município de São Paulo/SP), que integra o estudo desenvolvido por Rodrigues (2012). Os objetivos do artigo são:

1. Apresentar método para a estimativa de:
 - EEE em uso e armazenados (fora de uso) em domicílios de um município;
 - potencial de geração de resíduos a partir dos EEE armazenados (fora de uso) em domicílios de um município;
 - EEE descartados em determinado período de tempo.
2. Apresentar os resultados da aplicação do método para o caso do município de São Paulo (SP).

MÉTODO

Os valores a serem estimados por meio do método proposto neste artigo são obtidos a partir de estudo transversal de base populacional, com amostra probabilística simples ou sistemática de domicílios, de determinada unidade territorial de estudo. Inicialmente, estabeleceu-se o esquema da Figura 1, no qual são apresentados os itens investigados em cada um dos três estágios de fluxo considerados.

As variáveis do estudo são:

1. quantidade de EEE em uso existente nos domicílios da amostra;
2. quantidade de EEE fora de uso existente nos domicílios da amostra, respectivamente condições de funcionamento e tempo de aquisição dos mesmos;

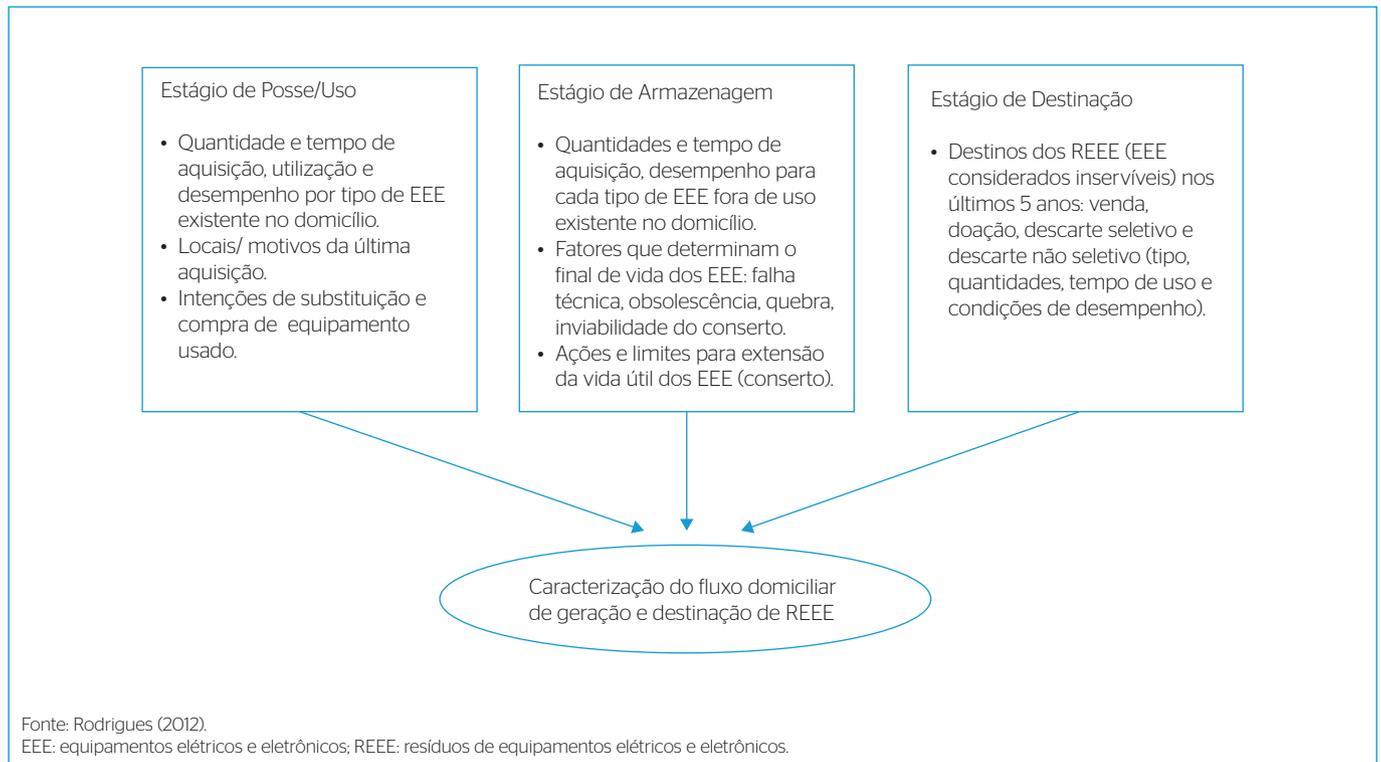


Figura 1 - Esquema para a caracterização do fluxo domiciliar de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos.

3. quantidade de EEE descartados no período de 5 anos, respectiva condição de funcionamento e alternativas para o descarte.

Ao considerar-se os tipos de EEE mais frequentes nos domicílios brasileiros, foram definidos os tipos de EEE para o cálculo das estimativas (Tabela 1).

Amostragem

A seleção de uma amostra de dimensão n com o objetivo de inferir propriedades para uma população de dimensão N a partir das propriedades estudadas na amostra, deve ser realizada por meio de processos de amostragem que resultem em “bons” estimadores e em “boas” estimativas. As propriedades dos estimadores só podem ser estudadas se for possível estabelecer um plano de amostragem que atribua a cada amostra selecionada uma determinada probabilidade, e esta atribuição só pode ser realizada com planos de amostragem aleatórios (VIEIRA, 2008).

O tamanho da amostra a ser sorteada aleatoriamente é calculado através da Equação 1:

$$n = \frac{p \cdot q \cdot z^2}{d^2} \quad (1)$$

onde:

n = tamanho da amostra; z = percentil da distribuição normal; p = proporção de interesse; d = erro máximo admitido; $q = 1 - p$

Tabela 1 - Tipos de equipamentos elétricos e eletrônicos selecionados para estudo.

1. Aparelho de Som
2. Aspirador de Pó
3. Barbeador e Depilador
4. Batedeira e <i>Mixer</i>
5. Computador
6. DVD
7. Ferro de Passar
8. <i>Freezer</i>
9. Micro-ondas
10. Furadeira
11. Geladeira
12. Impressora
13. Liquidificador
14. Máquina Lavar Roupas
15. Monitor-CRT
16. Monitor-LCD
17. MP3 MP4
18. <i>Notebook</i>
19. Rádio
20. Sanduicheira, <i>Grill</i> e Torradeira
21. Secador e Chapinha
22. Telefone Celular
23. Televisor
24. Televisor LCD
25. Ventilador
26. Videocassete

Ao considerarmos que, no estudo de fluxo de REEE, diversas proporções são estimadas e que não há informação na literatura, optou-se neste trabalho por utilizar o valor de 50% para a proporção p , que, para uma dada precisão, fornece o maior tamanho de amostra. Admitiu-se erro máximo de 5% com significância (erro α) de 5%, resultando no valor de z igual a 1,96.

Adoção de peso médio e tempo de vida útil por tipo de equipamentos elétricos e eletrônicos

Para o cálculo das estimativas é necessária a adoção de valores de Tempo de Vida Útil³ (TVU) e Peso Médio (PM) para cada tipo de equipamento a ser considerado no estudo. Os valores adotados basearam-se nos estudos de Oguchi *et al.* (2008) e Cooper (2004) e em levantamento realizado em fichas técnicas dos EEE disponíveis nos *sites* de redes de venda eletrônica. Dos dois estudos indicados foram considerados:

1. dados sobre PM e TVU médio para EEE, baseados em estatísticas e catálogos de produtos dos fabricantes (OGUCHI *et al.*, 2008, p.471 a 473);
2. dados sobre o TVU médio dos EEE sem condições de conserto, quando descartados pelas famílias participantes do estudo E-SCOPE (COOPER, 2004).

Nos *sites* de venda eletrônica de redes comerciais podem ser obtidos os pesos de diversos modelos e marcas para cada tipo de EEE investigado, e calculado o PM por tipo. Para a definição do TVU médio para cada tipo de equipamento, buscou-se preferencialmente adotar os valores de Cooper (2004), pois estes foram obtidos a partir de informação dos usuários dos produtos. Nos casos de parque mais antigo, com maioria dos EEE em uso e fora de uso e com tempos superiores aos indicados por Cooper, ou para os tipos não constantes no estudo de Cooper, adotaram-se os valores de Oguchi *et al.* (2008) (Tabela 2).

Com relação ao PM, adotou-se o maior valor entre os de Oguchi *et al.* (2008) e os obtidos no levantamento nos *sites* de venda eletrônica (Tabela 2). Exceção foi feita ao monitor de LCD, para o qual se adotou o PM do levantamento (cerca de 50% menor do que o de Oguchi *et al.*, 2008), considerando que esse tipo de EEE teve entrada relativamente recente no mercado brasileiro.

Estimativa do estoque de equipamentos elétricos e eletrônicos existente nos domicílios

O estoque de EEE existente nos domicílios corresponde ao total dos equipamentos em uso, acrescido do total daqueles que se encontram fora de uso, no momento da coleta de dados.

A aplicação de instrumento de coleta de dados semiestruturado (questionário) à amostra selecionada possibilita conhecer:

1. a quantidade total e por tipo de EEE em uso existente nos domicílios;
2. a quantidade total e por tipo de EEE fora de uso (armazenados nos domicílios);
3. as condições de funcionamento dos EEE fora de uso: em funcionamento; funcionando precariamente; ou fora de funcionamento (quebrado); e
4. o tempo decorrido desde a aquisição, para os EEE fora de uso.

A estimativa da quantidade para cada tipo de EEE em uso, assim como para os EEE fora de uso, existente nos domicílios da unidade territorial estudada é obtida por meio da Equação 2:

$$QE(N) = \frac{QE(n) \times D(N)}{n} \quad (2)$$

onde:

QE(N) = Quantidade de EEE (em uso ou fora de uso) na unidade territorial; QE(n) = Quantidade de EEE (em uso ou fora de uso) existente nos domicílios da amostra; D(N) = Número de domicílios particulares da unidade territorial; n = Número de domicílios da amostra

O peso dos EEE (por tipo) existentes nos domicílios da unidade territorial estudada (em uso ou fora de uso) é estimado por meio da Equação 3:

$$P(N) = QE(N) \times PM(e) \quad (3)$$

onde:

P(N) = Peso dos EEE (em uso ou fora de uso) na unidade territorial; QE(N) = Quantidade de EEE (em uso ou fora de uso) na unidade territorial; PM(e) = Peso médio assumido para cada tipo de equipamento constante da Tabela 2.

Na unidade territorial de estudo, a estimativa da quantidade, assim como do peso total dos EEE em uso ou fora de uso, corresponde à soma dos valores obtidos por meio das Equações 2 e 3, respectivamente, aplicadas a cada um dos tipos de EEE estudados.

Potencial de geração de resíduos a partir dos equipamentos elétricos e eletrônicos fora de uso

Os EEE fora de uso apresentam grande possibilidade de converterem-se em resíduos⁴ em futuro próximo, o que dependerá do estímulo para seu descarte⁵ ou retenção. A retenção de EEE fora de uso nos domicílios deve-se à condição de:

1. ainda funcionar embora em desuso;

³Período de tempo a partir da aquisição, durante o qual o equipamento mantém um bom desempenho funcional (desempenha adequadamente as funções para as quais foi concebido).

⁴Equipamentos a serem destinados à reciclagem ou à disposição final.

⁵Campanhas de coleta, incentivos monetários, proximidade de pontos de coleta.

2. intenção de conserto no futuro;
3. curto tempo de aquisição; e
4. valor investido na aquisição do bem.

Três cenários são construídos para dimensionar o potencial de geração futura de resíduos a partir do estoque de EEE fora de uso (item 2.3), considerando as incertezas quanto ao descarte.

Cenário 1: Os totais⁶ de EEE fora de uso são considerados potenciais resíduos (REEE).

⁶Totais, nesse item, corresponde ao total de EEE fora de uso para cada um dos tipos selecionados para estudo.

Cenário 2: Somente os EEE fora de uso declarados pelos respondentes como “funcionando precariamente ou quebrados” são considerados potenciais resíduos (REEE).

Cenário 3: Somente os EEE fora de uso que extrapolaram os tempos de vida útil adotados (Tabela 2) para cada tipo de EEE são considerados potenciais resíduos (REEE).

Estimativa dos equipamentos elétricos e eletrônicos descartados em determinado período de tempo

A aplicação do questionário possibilita conhecer:

1. A quantidade de EEE descartados em determinado período, por tipo de EEE e por alternativa de descarte:

Tabela 2 - Tempo de vida útil e peso médio dos equipamentos elétricos e eletrônicos selecionados para investigação

Equipamentos	Tempo de vida útil - médio (ano)			Peso médio (kg/unidade)		
	Oguchi*	Cooper**	Valor Adotado	Oguchi*	Lojas On Line***	Valor Adotado
Aparelho de Som	14,0	8,0	8,0	4,6	3,9	4,6
Aspirador de Pó	9,5	7,0	7,0	4,3	6,0	6,0
Barbeador e Depilador	8,4	4,0	4,0	0,2	0,2	0,2
Batedeira e Mixer	8,4	4,0	4,0	-	2,2	2,2
Computador	6,6	7,0	7,0	15,0	12,0	15,0
DVD	7,2	7,0	7,0	3,2	1,5	3,2
Ferro de Passar	8,4	4,0	4,0	1,0	1,2	1,2
Freezer	11,0	11,0	11,0	30,0	52,0	52,0
Furadeira	-	7,0	7,0	-	1,7	1,7
Geladeira	12,0	11,0	11,0	61,0	60,0	61,0
Impressora	7,1	-	7,0	5,6	4,0	5,6
Liquidificador	8,4	4,0	4,0	2,9	1,8	2,9
Máquina Lavar Roupa	11,0	9,0	11,0	39,0	42,0	42,0
Microondas	13,2	7,0	7,0	15,0	15,0	15,0
Monitor CRT	12,0	-	12,0	15,0	15,0	15,0
Monitor LCD	8,6	-	9,0	10,0	4,8	4,8
MP3 MP4	2,0	-	2,0	0,1	0,1	0,1
Notebook	7,4	-	7,0	2,9	2,5	2,9
Rádio	8,4	5,0	8,0	0,4	1,0	1,0
Sanduícheira, Grill e Torradeira	8,4	4,0	4,0	2,7	1,5	2,7
Secador e Chapinha	8,4	4,0	4,0	0,4	0,5	0,5
Telefone Celular	4,3	4,0	4,0	0,1	0,1	0,1
Televisor	12,0	10,0	12,0	31,0	30,0	31,0
Televisor LCD	7,2	-	7,0	8,0	15,0	15,0
Ventilador	8,3	-	8,0	2,6	2,4	2,6
Videocassete	8,9	7,0	9,0	3,8	-	3,8

*Oguchi et al. (2008); **Cooper (2004) - Tempo de vida médio dos equipamentos elétricos e eletrônicos descartados “irreparáveis” - E-SCOPE; *** Peso médio a partir de informações em fichas técnicas de produtos (sites de venda eletrônica).

- destinação com intenção de reutilização;
 - doação e venda a terceiros;
 - destinação com intenção de reciclagem (coleta seletiva; aproveitamento de peças, venda como sucata, ou devolução no comércio); e
 - destinação ao lixo comum.
2. Condições de funcionamento dos EEE descartados:
- funcionando bem;
 - funcionando precariamente;
 - quebrado com possibilidade de conserto; e
 - quebrado sem possibilidade de conserto.

Assim, para determinado período, a estimativa da quantidade de EEE descartados (unidades e massa) nos domicílios da unidade territorial considerada é a somatória dos valores obtidos por meio das Equações 4 e 5, respectivamente, aplicadas a cada um dos tipos de EEE investigados:

$$QD(N) = \frac{QD(n) \times D(N)}{n} \quad (4)$$

onde:

QD(N) = Quantidade de EEE descartados na unidade territorial;
 QD(n) = Quantidade de EEE descartados da amostra; D(N) = número de domicílios particulares da unidade territorial; n = número de domicílios da amostra

$$P(N) = QD(N) \times PM(e) \quad (5)$$

onde:

P(N) = peso de EEE descartados na unidade territorial; QD(N) = quantidade de EEE descartados da unidade territorial; PM(e) = peso médio assumido para cada tipo de equipamento (Tabela 2).

Nesta quantificação estão incluídos os EEE descartados com intenção de reutilização (doação ou venda a terceiros). Devido à existência de incertezas estruturais⁷ quanto às parcelas dos EEE efetivamente reutilizados, foram construídos quatro cenários, considerando condição de funcionamento e adoção de taxas de reutilização. Os quatro cenários propostos são:

- Cenário 1: Somente os equipamentos que se encontravam “funcionando precariamente” ou “quebrados”, no momento do descarte, são considerados resíduos.

- Cenário 2: Apenas os EEE descartados, excluindo aqueles encaminhados para reutilização (doados e vendidos a terceiros), são considerados resíduos.
- Cenário 3: Considera-se que somente 75% dos EEE descartados e encaminhados para reutilização foram efetivamente reutilizados; 25% são resíduos. Logo, são REEE 25% dos EEE descartados e encaminhados para reutilização + os descartados como resíduos.
- Cenário 4: Considera-se que somente 50% dos EEE descartados e encaminhados para reutilização foram efetivamente reutilizados; 50% são resíduos. Logo, são REEE 50% dos EEE descartados e encaminhados para reutilização + os descartados como resíduos.

Para os cenários 3 e 4, foram adotados como parâmetros de taxa de reutilização, respectivamente, os percentis 75% e 50% (mediana) da distribuição dos equipamentos descartados encaminhados para reutilização.

ESTIMATIVAS PARA O MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

Ao aplicar o método apresentado anteriormente ao município de São Paulo, foi possível estimar as quantidades e peso total dos EEE existentes e descartados provenientes dos domicílios particulares permanentes. Foram realizadas também estimativas do potencial de geração de resíduos a partir dos EEE fora de uso armazenados nos domicílios.

A amostra representativa dos domicílios paulistanos foi calculada utilizando-se a Equação 1, resultando n=384. Optou-se pela amostragem sem reposição e, para compensar possíveis perdas devido à recusa de participação na pesquisa ou ausência de morador, ajustou-se o valor calculado para n=480. A seleção seguiu o procedimento de amostragem por conglomerados em dois estágios, nos quais as unidades primárias são os setores censitários e as unidades secundárias, os domicílios. A seleção de 30 setores censitários foi realizada de forma aleatória e sistemática, com probabilidade de seleção proporcional ao número de domicílios integrantes de cada setor, identificados em censo demográfico. Seleção sistemática foi também realizada para a escolha de 16 domicílios, em cada um dos setores selecionados.

A amostra final de domicílios (n=395) superou a amostra calculada. Admitiu-se erro máximo de 5% com significância (erro α) de 5%. Na análise estatística dos dados foram calculadas medidas de tendência central e intervalos com 95% de confiança. Para as estimativas (unidade e peso) de EEE existentes nos domicílios, dos EEE descartados e do potencial de geração de resíduos, foram utilizados dados do Censo 2010 (IBGE, 2010):

1. população urbana do município de São Paulo com 11.152.344 hab.;

⁷Situações em que se admite a possibilidade de um acontecimento, mas que este, pelo seu caráter único, não fornece uma probabilidade da sua realização; a possibilidade do acontecimento existir é, por sua vez, resultante de uma sequência de raciocínio do tipo “causa-efeito” (e daí a referência a uma estrutura), mas não se pode saber ao certo qual a sua configuração. Toda a incerteza grave impõe automaticamente a consideração de diversos futuros, mais do que uma previsão única, mas as incertezas qualitativas – fundamentais nos diferentes Cenários – acrescentam uma dimensão importante à planificação” SCHWARTZ (1993) apud DPP (1997).

2. nº de domicílios particulares permanentes no município de São Paulo de 3.470.566.

A coleta de dados nos domicílios foi realizada no período final de 2009 e início de 2010. Consideraram-se os 26 tipos de EEE mais frequentes nos domicílios (Tabela 1).

Estimativa do estoque de equipamentos elétricos e eletrônicos nos domicílios

Considerou-se estoque a soma dos EEE em uso e fora de uso existentes nos domicílios. Como resultado global do levantamento domiciliar, extrapolado para a população do município de São Paulo, chegou-se à estimativa da existência de 71,9 milhões de EEE nos domicílios paulistanos (IC95% 68,4–75,3), dos quais 8,8 milhões (IC95% 7,8–9,9) estavam fora de uso (armazenados), representando 12,2% do estoque. Para EEE em uso, encontraram-se as médias de 18,2 equipamentos por domicílio, correspondendo à média *per capita* de 5,3 EEE por habitante.

Estimativa dos equipamentos elétricos e eletrônicos descartados no período de cinco anos

A estimativa dos EEE descartados no período de 5 anos anteriores à pesquisa (2006 a 2010) considerou todos os tipos de descarte e resultou em cerca de 20,5 milhões de unidades de EEE (IC95% 18,7–22,4), correspondendo a 4,1 milhões de EEE por ano. O total (em peso) de EEE descartados foi cerca de 270 mil toneladas, representando média anual de 53,4 mil toneladas, correspondente a 4,8 kg.hab.⁻¹.ano⁻¹ (Tabela 3). No período, os tipos de EEE mais descartados (unidades) foram: telefone celular (3,2 milhões) e ferro de passar (2,2 milhões), totalizando 2.959 toneladas. Destaca-se o descarte de geladeiras, máquinas de lavar e TVs, que corresponde a cerca de 200 mil toneladas, representando 75% do peso total de EEE descartados no período.

Como o período de 5 anos é extenso, não foi possível precisar exatamente quando ocorreram os descartes, se uniformemente ao longo do período ou se concentrados nos últimos anos devido à maior obsolescência dos equipamentos. É possível também que esses dados reflitam erros associados à memória dos respondentes, uma vez que há tendência de lembrar fatos mais recentes, implicando na subestimação das quantidades declaradas.

A estimativa do descarte não reflete diretamente a geração de resíduos, pois grande parte dos EEE descartados (50,7%) ainda se encontrava em condições de uso e não apresentava avarias que impediam seu funcionamento; esses EEE passíveis de reutilização não foram considerados resíduos.

Verificou-se que a maior parte dos EEE descartados foi destinada à doação ou venda para terceiros (59,5%). Entretanto, a destinação com intenção de reutilização e a condição de bom funcionamento

Tabela 3 – Estimativa dos EEE descartados no município de São Paulo, 2006-2010.

Equipamentos	Descarte de EEE	
	Unidades	Peso (t)
Aparelho de Som	1.063.135	4.890
Aspirador de Pó	237.229	1.423
Barbeador e Depilador	96.649	19
Batedeira e <i>Mixer</i>	553.533	1.218
Computador	755.617	11.334
DVD	597.465	1.912
Ferro de Passar	2.196.561	2.636
<i>Freezer</i>	123.007	6.396
Furadeira	342.663	583
Geladeira	1.440.944	87.898
Impressora	395.381	2.214
Liquidificador	1.405.799	4.077
Máquina de Lavar Roupa	1.221.288	51.294
Microondas	694.113	10.412
Monitor CRT	852.266	12.784
Monitor LCD	52.717	253
MP3 e MP4	351.450	35
<i>Notebook</i>	105.435	306
Rádio	492.030	492
Sanducheira, <i>Grill</i> e Torradeira	193.297	522
Secador e Chapinha	676.541	338
Telefone Celular	3.233.337	323
Televisor	1.950.546	60.467
Televisor LCD	61.504	923
Ventilador	825.907	2.147
Videocassete	571.106	2.170
Total	20.489.519	267.067

EEE: equipamentos elétricos e eletrônicos.

apresentada pelos EEE descartados não garantem que os EEE tenham sido efetivamente reutilizados⁸.

Devido a essas incertezas, para melhor visualizar as possibilidades de geração de resíduos, a Tabela 4 apresenta as estimativas para cada um dos quatro cenários de descarte. Nos quatro cenários, os grandes eletrodomésticos (geladeira, máquina de lavar roupas e *freezer*) representam entre 55 e 57% do peso total de resíduos. Televisores e monitores com tecnologia CRT representam 25 a 27% do peso total.

⁸Alguns dos motivos detectados por Rodrigues (2012) para a não reutilização de equipamentos descartados em condição de bom funcionamento foram: rejeição a equipamentos usados, incerteza quanto a sua durabilidade e obsolescência tecnológica dos EEE de informática (que impede bom desempenho).

Para os quatro cenários, os valores médios anuais de resíduos gerados (total e *per capita*) constam da Tabela 5. Observa-se que a geração *per capita* varia de 1,4 kg.hab.⁻¹.ano⁻¹, no melhor cenário (todos EEE encaminhados para reutilização foram efetivamente reutilizados) a 3,1 kg.hab.⁻¹.ano⁻¹, no pior cenário considerado (apenas metade dos EEE doados e vendidos foi efetivamente reutilizada).

O descarte de equipamentos pós-consumo junto com os resíduos comuns alcançou o valor total de 17,4 mil toneladas, correspondendo a uma geração média anual de 3.484 toneladas e resultando na geração *per capita* de 0,3 kg.hab.⁻¹.ano⁻¹. Os televisores e monitores com

tecnologia CRT representaram aproximadamente 37% (em peso) do total dos equipamentos descartados. Três tipos de equipamentos chamam a atenção quanto às quantidades (unidades) enviadas ao lixo comum: ferro de passar, telefone celular e liquidificador (Tabela 6).

Estimativa do potencial de geração futura de resíduos (equipamentos elétricos e eletrônicos fora de uso)

A estimativa para o dimensionamento da geração futura de resíduos, a partir dos EEE fora de uso, foi calculada para os três cenários definidos

Tabela 4 - Estimativas da geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, por tipo de equipamento e cenário, no município de São Paulo, 2006/2010.

Equipamentos	Cenário 1 - São resíduos os EEE Funcionando precariamente ou quebrados		Cenário 2 - São resíduos os EEE Descartados com exclusão dos encaminhados para reutilização		Cenário 3 - Somente 75% dos EEE encaminhados para Reutilização foram efetivamente reutilizados		Cenário 4 - Somente 50% dos EEE encaminhados p Reutilização foram efetivamente reutilizados	
	Unidades	Peso (t)	Unidades	Peso (t)	Unidades	Peso (t)	Unidades	Peso (t)
Aparelho de Som	351.450	1.617	263.587	1.213	454.688	2.092	645.789	2.971
Aspirador de Pó	140.580	843	96.649	580	127.401	764	158.152	949
Barbeador e Depilador	61.504	12	61.504	12	68.093	14	74.683	15
Batedeira e Mixer	325.091	715	219.656	483	303.125	667	386.595	851
Computador	184.511	2.768	202.084	3.031	338.270	5.074	474.457	7.117
DVD	307.519	984	219.656	703	311.912	998	404.167	1.293
Ferro de Passar	1.722.104	2.067	1.309.150	1.571	1.517.823	1.821	1.726.497	2.072
Freezer	17.572	914	26.359	1.371	50.521	2.627	74.683	3.884
Furadeira	237.229	403	175.725	299	215.263	366	254.801	433
Geladeira	571.106	34.837	369.022	22.510	634.806	38.723	900.590	54.936
Impressora	184.511	1.033	140.580	787	202.084	1.132	263.587	1.476
Liquidificador	922.556	2.675	685.327	1.987	863.248	2.503	1.041.170	3.019
Máquina de Lavar Roupa	711.686	29.891	474.457	19.927	661.165	27.769	847.872	35.611
Microondas	272.374	4.086	184.511	2.768	307.519	4.613	430.526	6.458
Monitor CRT	210.870	3.163	228.442	3.427	382.202	5.733	535.961	8.039
Monitor LCD	0	0	0	0	13.179	63	26.359	127
MP3 e MP4	166.939	17	202.084	20	237.229	24	272.374	27
Notebook	35.145	102	26.359	76	46.128	134	65.897	191
Rádio	298.732	299	219.656	220	285.553	286	351.450	351
Sandueira, Grill e Torradeira	96.649	261	43.931	119	81.273	219	118.614	320
Secador e Chapinha	483.243	242	342.663	171	421.740	211	500.816	250
Telefone Celular	1.282.791	128	1.476.089	148	1.880.256	188	2.284.423	228
Televisor	817.121	25.331	562.320	17.432	907.180	28.123	1.252.040	38.813
Televisor LCD	8.786	132	0	0	15.376	231	30.752	461
Ventilador	518.388	1.348	404.167	1.051	505.209	1.314	606.251	1.576
Videocassete	254.801	968	202.084	768	289.946	1.102	377.808	1.436
Total	10183.256	114.835	8136.061	80.674	11121.187	126.789	14106.313	172.905

EEE: equipamentos elétricos e eletrônicos.

Tabela 5 - Estimativa de geração anual média (total e *per capita*) de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, por cenário, município de São Paulo, 2006/2010.

Cenários	Geração de Resíduos Média anual (Ton.ano ⁻¹)	Geração de resíduos Média <i>per capita</i> (kg. hab. ⁻¹ .ano ⁻¹)
1	22.967	2,0
2	16.135	1,4
3	25.358	2,3
4	34.581	3,1

Tabela 6 - Estimativa dos resíduos descartados no lixo comum, por tipo de equipamento, no município de São Paulo, 2006/2010

Equipamentos	Unidades	Peso (t)
Aparelho de Som	96.649	445
Aspirador de Pó	35.145	211
Barbeador e Depilador	43.931	9
Batedeira e <i>Mixer</i>	131.794	290
Computador	26.359	395
DVD	35.145	112
Ferro de Passar	694.113	833
<i>Freezer</i>	0	0
Furadeira	87.862	149
Geladeira	26.359	1.608
Impressora	35.145	197
Liquidificador	448.098	1.299
Máquina de Lavar Roupa	79.076	3.321
Microondas	61.504	923
Monitor LCD	0	0
Monitor-CRT	35.145	527
MP3 e MP4	87.862	9
<i>Notebook</i>	0	0
Rádio	123.007	123
Sanducheira, <i>Grill</i> e Torradeira	17.572	47
Secador e Chapinha	202.084	101
Telefone Celular	483.243	48
Televisor	193.297	5.992
Televisor LCD	0	0
Ventilador	210.870	548
Videocassete	61.504	234
TOTAL	3.215.765	17.422

no método proposto, conforme demonstrado na Tabela 7. As médias *per capita* para os três cenários são apresentadas na Tabela 8.

Para os cenários 2 e 3, os valores referentes à quantidade e peso de resíduos resultaram muito próximos, embora observem-se diferenças significativas entre os tipos de EEE. Para alguns tipos (videocassete, geladeira, *freezer*, secador e chapinha, barbeador e depilador e bate-deira) a quantidade que ultrapassou os TVU médios adotados (cenário 3) é significativamente maior do que a que se encontrava avariada (cenário 2). Este fato indica que o TVU real para esses equipamentos é maior que o adotado.

Para outros tipos de EEE (impressora, *notebook* e máquina de lavar), verifica-se o contrário: a quantidade em condições precárias de funcionamento ou quebrados (cenário 2) é significativamente maior do que os que extrapolaram o TVU médio adotado (cenário 3), sugerindo queda na durabilidade e crescente fragilidade desses tipos, se comparados a outros mais antigos. Impressoras e máquinas de lavar, tradicionalmente mais duráveis, podem ter influência da sofisticação do uso de comandos eletrônicos em modelos mais recentes.

CONCLUSÕES

O método proposto para a estimativa da geração de REEE de origem domiciliar ancora-se na obtenção de dados primários, com rigor científico e significância estatística. Sua aplicação proporciona qualidade e confiabilidade às estimativas obtidas, resultando em indicadores que refletem o estoque, armazenagem e descarte de EEE, assim como as tendências de geração futura de resíduos. Algumas tendências de geração de REEE puderam ser identificadas. As estimativas indicam que TVs e monitores com tecnologia CRT representam de 25 a 27% do peso total, enquanto geladeiras e *freezers*, os quais necessitam de tratamento prévio para descontaminação por conterem gás CFC, chegam a cerca de 30%. TVs e monitores CRT, que não possuem valor econômico no mercado de recicláveis, também necessitam de tratamento devido às substâncias perigosas que possuem. Sistemas de logística reversa devem estar preparados para captar/absorver prioritariamente esse passivo dentro dos próximos anos.

A média anual *per capita* estimada de descarte de EEE resultou em 4,8 kg.hab.⁻¹.ano⁻¹, sem descontar a parcela que efetivamente foi reutilizada; na prática, doados ou vendidos a terceiros. A geração média *per capita* anual de REEE, para os quatro cenários, variaram de 1,4 kg.hab.⁻¹.ano⁻¹, no melhor cenário (Cenário 2 – todos EEE encaminhados para reutilização foram efetivamente reutilizados), a 3,1 kg.hab.⁻¹.ano⁻¹, no pior cenário (Cenário 4 – apenas metade EEE encaminhados para reutilização foram reutilizados). Ao considerar as limitações para a reutilização e a possibilidade de subestimação, decorrente do viés de memória dos respondentes quanto ao descarte, o cenário 4 configurou-se como mais provável.

Tabela 7 - Estimativa do potencial de geração futura de resíduos a partir dos equipamentos elétricos e eletrônicos fora de uso, por tipo de equipamento e cenário, no município de São Paulo, 2010

Equipamentos	Cenário 1 - 100% dos EEE fora de uso é potencial resíduo		Cenário 2 - Os EEE fora de uso funcionando parcialmente ou quebrados são potenciais REEE		Cenário 3 - Os EEE fora de uso, que extrapolaram o TVU adotado são considerados potenciais resíduos	
	Unidades	Peso (t)	Unidades	Peso (t)	Unidades	Peso (t)
Aparelho de Som	351.450	1.617	237.229	1.091	272.374	1.253
Aspirador de Pó	123.007	738	61.504	369	79.076	474
Barbeador e Depilador	114.221	23	35.145	7	87.862	18
Batedeira e Mixer	123.007	271	43.931	97	79.076	174
Computador	342.663	5.140	149.366	2.240	228.442	3.427
DVD	307.519	984	175.725	562	70.290	225
Ferro de Passar	1.036.777	1.244	518.388	622	553.533	664
Freezer	140.580	7.310	17.572	914	87.862	4.569
Furadeira	131.794	224	87.862	149	35.145	60
Geladeira	158.152	9.647	79.076	4.824	114.221	6.967
Impressora	342.663	1.919	175.725	984	35.145	197
Liquidificador	360.236	1.045	184.511	535	184.511	535
Máquina de Lavar Roupa	228.442	9.595	202.084	8.488	96.649	4.059
Microondas	79.076	1.186	52.717	791	8.786	132
Monitor CRT	298.732	4.481	131.794	1.977	70.290	1.054
Monitor LCD	26.359	127	8.786	42	0	0
MP3 e MP4	307.519	31	105.435	11	184.511	18
Notebook	52.717	153	43.931	127	17.572	51
Rádio	254.801	255	105.435	105	105.435	105
Sandueira, Grill e Torradeira	114.221	308	26.359	71	35.145	95
Secador e Chapinha	298.732	149	87.862	44	184.511	92
Telefone Celular	2.135.057	214	1.027.990	103	861.052	86
Televisor	527.175	16.342	246.015	7.626	202.084	6.265
Televisor LCD	17.572	264	8.786	105	0	0
Ventilador	210.870	548	87.862	228	70.290	183
Videocassete	702.899	2.671	246.015	935	474.457	1.803
Total	8.786.243	66.485	4.147.107	33.049	4.138.320	32.506

EEE: equipamentos elétricos e eletrônicos; REEE: resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos; TVU: tempo de vida útil.

Em termos de peso, chama a atenção o descarte de geladeiras, máquinas de lavar e TVs, que correspondem a cerca de 200 mil toneladas e 75% do peso total, no período de 5 anos.

Tabela 8 - Estimativa do potencial de geração média per capita de resíduos, por cenário, no município de São Paulo, 2006/2010

Cenário	Potencial de geração média per capita de resíduos (kg.hab ⁻¹)
1	6,0
2	3,0
3	2,9

Os EEE fora de uso (armazenados) representaram parcela significativa (12,2%) do total de EEE existentes nos domicílios. Esta prática de armazenagem é generalizada e ocorre na maioria dos domicílios (72,6%). O potencial de geração de resíduos a partir dos EEE fora de uso, estimado para três cenários, variou entre 2,9 a 6,0 kg.hab⁻¹.ano⁻¹. Ao considerar que praticamente metade dos EEE armazenados nos domicílios paulistanos encontrava-se funcionando parcialmente ou quebrada, assim como as limitações existentes para o conserto, além da obsolescência tecnológica, o cenário de um potencial de geração de resíduos de 6,0 kg.hab⁻¹ é o mais provável. Entretanto, o momento em que ocorre o descarte continua incerto, pois dependerá, dentre outros fatores, de estratégias direcionadas à sua coleta.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M.G.; MAGRINI, A.; MAHLER, C.F.; BILITEWSKI, B. (2012) A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil. *Waste Management*, n. 32, n. 2, p. 335-342.
- BRASIL. (2010) Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 2010.
- COOPER, T. (2004) Inadequate life? Evidence of consumer attitudes to product obsolescence. *Journal of Consumer Policy*, v. 27, n. 4, p. 421-449.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY - EEA. (2003) *Waste from Electric and Electronic Equipment (WEEE): Quantities, dangerous substances and treatment methods*. Disponível em: <http://scpeionet.europa.eu/publications/wp2003_1/wp/WEEE_2003>. Acesso em: 23 set. 2008.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. (2009) *Diagnóstico da Geração de Resíduos Eletrônicos no Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte. Disponível em: <http://ewasteguide.info/files/Rocha_2009_pt.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2009.
- FRANCO, R.G.F. & LANGE, L.C. (2011) Estimativa do fluxo dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 16, n. 1, p. 73-82.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2010) Primeiros resultados do Censo 2010. Tabelas - Domicílios por espécie. *Total domicílios* São Paulo. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/total_domicilios_sao_paulo.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2011.
- MATTHEWS, H.S.; HENDRICKSON, C.; McMICHAEL, F.C.; HART, D.J. (1997) *Disposition and end-of-life options for personal computers*. Green Design Technical Report 97-10. Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA. Disponível em: <<http://gdi.ce.cmu.edu/comprec/NEWREPORT.PDF>>. Acesso em: 30 mar. 2008.
- MILOVANTSEVA, N & SAPHORES, J.D. (2013) Time bomb or hidden treasure? Characteristics of junk TVs and of the US households who store them. *Waste Management*, v. 33, n. 3, p. 519-529.
- OGUCHI, M.; KAMEYA T.; YAGI, S.; URANO, K. (2008) Product flow analysis of various consumer durables in Japan. *Resources, Conservation and Recycling*, v.52, n.3, p. 463-480.
- OLIVEIRA, C.R.; BERNARDES, A.M.; GERBASE, A.E. (2012) Collection and recycling of electronic scrap: A worldwide overview and comparison with the Brazilian situation. *Waste Management*, v. 32, n. 8, p. 1592-1610.
- PERALTA, G.L. & FONTANOS, P.M. (2006) E-Waste issues and measures in the Philippines. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, v. 8, n.1, p.34-39.
- RODRIGUES, A.C. (2007) *Impactos socioambientais dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: estudo da cadeia pós-consumo no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara do Oeste.
- RODRIGUES, A.C. (2012) *Fluxo domiciliar de geração e destinação de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no município de São Paulo/SP: caracterização e subsídios para políticas públicas*. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- VIEIRA, M.T.F.A. (2008) *Amostragem*. Dissertação (Mestrado Matemática: Especialização de Ensino) - Universidade de Aveiro, Aveiro.
- WIDMER, R.; OSWALD-KRAPF, H.; SINHA-KHETRIWAL, D.; SCHNELLMANN, M.; BÖNI, H. (2005) Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review*, v.25, n. 5, p. 436-458.