

III-365 - FLUXO DA GERAÇÃO DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS EM BELO HORIZONTE E REGIÃO

Renato de Carli Almeida Couto⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental e de Segurança do Trabalho. Mestrando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG).

Cinthia Versiani Scott Varella

Engenheira de Produção. Mestre em Produção. Bolsista DTI do CNPQ e pesquisadora do Núcleo de Alternativas de Produção (UFMG).

Raphael Tobias de Vasconcelos Barros

Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (UFMG).

Endereço⁽¹⁾: Rua Dona Modestina, 178 - Bairro Quatorze de Fevereiro - Itabira - Minas Gerais - CEP: 35900-238 - Brasil - Tel.: (31) 9197-5007 - e-mail: renatodecarli@yahoo.com.br.

RESUMO

O trabalho tem por objetivo analisar os principais fluxos de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) em Belo Horizonte (MG) e região, a partir da identificação e caracterização dos atores que estão envolvidos nos processos a que os REEE são submetidos, segundo aspectos técnicos, socioambientais e econômicos. Foram realizados levantamentos de dados iniciais a partir dos autores identificados por meio da revisão de literatura, onde foi possível através das indicações destes (técnica bola de neve), de entrevistas (com roteiro de entrevista semi-estruturada) realizadas por meio de contatos telefônicos e de visitas técnicas conhecer novos atores inseridos neste contexto. Foram levantadas também informações complementares em sítios eletrônicos relacionados aos atores que fazem parte de alguma etapa da cadeia dos REEE. Essas informações foram armazenadas em um banco de dados e sistematizadas. Os resultados foram apresentados e discutidos através de fluxogramas. Verificou-se que em Belo Horizonte não existe um sistema formal de gestão dos REEE, embora exista um mercado incipiente que recupera parte desses materiais. O fato do mercado reger a recuperação dos REEE traz algumas consequências para o sistema: limita a quantidade de REEE reciclada e os materiais contaminantes, como as baterias dos celulares, “desaparecem” no processo de reciclagem, pressupondo-se que estão sendo descartadas de maneira inapropriada. Conclui-se, portanto, que os REEE, até por seu eventual componente de perigo, enquadram-se numa categoria que exige uma gestão mais aprimorada, ainda que o mercado não precifique esta iniciativa a contento.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos, Fluxograma, Atores, Belo Horizonte e região.

INTRODUÇÃO

A gestão de Resíduos Sólidos (RS) exige equacionamento de vários componentes. Isto preocupa pelo reflexo direto no meio ambiente, uma vez que a redução dos preços de venda, a evolução tecnológica e a diminuição do tempo de vida útil dos equipamentos eletroeletrônicos têm ocasionado maior geração de resíduos e, por conseguinte uma maior demanda na extração dos recursos naturais (BARROS, 2012). Belo Horizonte (MG), com 335 km², população de 2.412.937 habitantes (IBGE, 2014), e com Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,839, tem um mercado de consumo desenvolvido e com elevado potencial de geração de REEE.

Franco e Lange (2011) prognosticaram para o município uma geração potencial de 136.341 toneladas de resíduos entre os anos de 2012 e 2023 (portanto, por volta de 11.361 t/ano), considerando apenas os telefones celulares, televisores e computadores. Já Barros *et al.* (2014), com base nos dados do CMRR (2010), estimaram que foram gerados em Belo Horizonte e região, em 2014, aproximadamente 9.052 t/ano de REEE, considerando os mesmos equipamentos (telefones celulares, televisores e computadores). Estes números traduzem uma realidade subestimada – e, nesta comparação, com uma diferença da ordem de 20% na geração anual –, uma vez que a geração de REEE é muito superior, justificado pelos itens amostrados no estudo serem pouco representativos entre os diversos outros tipos de Equipamentos Eletroeletrônicos (EEE) produzidos nas quatro linhas existentes (verde, marrom, azul e branca).

Um fato que interfere na quantidade de REEE gerada é o comportamento relacionado ao descarte de REEE pelos consumidores que, em geral, não sabem (e não se interessam) qual o destino dar a esses materiais. Como os REEE são derivados muitas vezes de produtos de estima (ex.: celulares, televisores *etc.*), as pessoas guardam por um maior tempo esses bens em casa, ou seja, eles não estão sendo descartados quando finalizado o tempo de vida útil dos produtos, ou depois que aquele produto não tem mais utilidade para o seu detentor, prolongando o tempo entre a aquisição do equipamento eletroeletrônico e o seu descarte.

O contexto dos REEE em Belo Horizonte e região é marcado por duas características: carência de políticas públicas de gestão de REEE e um mercado ainda incipiente e informal. Assim, uma pequena parte dos REEE é remanufaturada, outra parte é encaminhada para a cadeia da reciclagem, e com o restante - provavelmente a maior fração - ainda não se sabe o que está sendo feito.

No Brasil, reforçados pela lei da Política Nacional de RS (de 2010), os estudos sobre esta problemática ainda são poucos diante da complexidade que estes resíduos demonstram ter e de suas quantidades. Até a edição da lei da Política nacional de resíduos sólidos, Belo Horizonte e região contavam com pouquíssimos instrumentos locais (a Lei estadual de resíduos sólidos é de 2009 e tem uma única referência aos REEE) como, por exemplo, o código de saúde estadual (de 2004) (BARROS, 2012).

Arelada a essa nova lei de resíduos sólidos foi lançada, em abril de 2011, a Portaria nº 113/11, sobre a Implantação de Sistemas de Logística Reversa (ABDI, 2013). Com esta Portaria foi então aprovado o regimento interno para o Comitê orientador para Implantação¹ de Sistemas de Logística Reversa, que responsabiliza os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, a gerir os sistemas de logística reversa, “mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo do RS” (BRASIL, 2010).

Diferentes pesquisas vêm sendo desenvolvidas em instituições do país visando a contribuir para a minimização dos problemas e dificuldades enfrentadas pela sociedade no manejo de seus resíduos. Este estudo faz parte de um projeto mais amplo, em curso, de desenvolvimento de tecnologias visando à valorização de RS, em rede com outras quatro universidades brasileiras (UFC, UFT, UFBA e Unisinos) e com apoio da FINEP. Começado em junho de 2013, sua etapa inicial analisa as questões relativas à produção dos REEE em Belo Horizonte e região.

Este trabalho tem por objetivo analisar os principais fluxos de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) em Belo Horizonte e região, a partir da identificação e caracterização dos atores envolvidos nos processos de produção a que os REEE são submetidos, segundo aspectos técnicos, socioambientais e econômicos.

METODOLOGIA

O objeto deste estudo abrange o município de Belo Horizonte e região (cidades adjacentes, conurbadas com a capital mineira), incorporando elementos que permitiram identificar diversos atores na cadeia dos REEE e seus papéis. Para elaborar a pesquisa, no período entre junho de 2013 (início do projeto de pesquisa) e maio de 2015 foram realizadas as seguintes ações:

- Identificação dos atores e levantamento de dados relacionados à cadeia dos REEE:
 - Revisão bibliográfica e levantamento de informações a partir de artigos, documentos oficiais, relatórios técnicos, dissertações e teses relacionadas aos REEE em Belo Horizonte e região;
 - Levantamento das empresas licenciadas através do Sistema de Informação Ambiental (SIAM), da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) de Minas Gerais;

¹ A implantação de sistemas de logística reversa depende dos acordos setoriais entre os principais elos da cadeia (o poder público e os fabricantes, importadores, distribuidores/comerciantes). Foi lançado o edital que contempla a implantação compartilhada pelo ciclo de vida do produto, mas ainda não foram firmados estes acordos devido a vários impasses entre o governo e as empresas (ABINEE, 2015).

- Indicações (através da técnica bola de neve) a partir das entrevistas (com roteiro de entrevista semi-estruturada) realizadas por meio de contatos telefônicos e visitas técnicas;
- Levantamento amostral sobre gestão de REEE em oficinas de reparos de equipamentos eletroeletrônicos em BH e região;
- Levantamento de informações complementares em sítios eletrônicos.
- Sistematização das informações através de tabelas e representações gerais por meio de fluxogramas;
- Análise dos dados.

Foram elaborados relatórios técnicos internos ao longo de toda pesquisa (2013 a 2015), que subsidiaram as informações que são apresentadas neste artigo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi possível identificar várias atividades existentes relacionados à cadeia dos REEE e seus respectivos atores, tais como: Reuso e recondicionamento; Coleta; Coleta, triagem e descaracterização de REEE; Beneficiamento e transformação; e Destinação final. Os resultados obtidos, sistematizados, constituem um banco de dados e são apresentados em parte na Tabela 1.

Tabela 1: Identificação e demais informações levantadas relacionadas aos REEE.

Atividades	Atores	(NEI) Núm. de Empresas Identificadas	(NEV) Núm. de Empresas Visitadas	NEV/NEI (%)
Reuso e recondicionamento	Organizações assistenciais e públicas	3	1	33
	Oficinas de reparação	116	116	100
Coleta	Gerenciamento de resíduos industriais	6	0	0
	Fabricantes	-	-	-
	Leilões	-	-	-
	Distribuidores	-	-	-
	Entidades especializadas em coleta de REEE	1	1	100
Coleta, triagem e descaracterização de REEE	Associações de catadores	12	5	42
	Sucateiros e Ferro-velho	3	2	67
	Empresas especializadas em REEE	4	3	75
Beneficiamento e transformação	Processamento de PCI*	1	1	100
	Processamento de metais proveniente de REEE	3	1	33
Beneficiamento e transformação	Processamento de plásticos proveniente dos REEE	1	1	100
	Processamento de vidro proveniente dos REEE	-	-	-
	Processamento de pilhas e baterias	-	-	-
Destinação final	Aterro Industrial	1	1	100
	Aterro Sanitário	2	0	0
	Entrepasto (URPV**)	34	0	0
	Disposições inadequadas (clandestinas)	-	-	-

*PCI (Placa de Circuito Impresso); **URPV (Unidade de Recebimento de Pequenos Volumes).

Foram identificados os atores que estão localizados em Belo Horizonte e região; porém, existem empresas instaladas em outros estados² que também coletam os REEE gerados nesta cidade e processam estes materiais. A partir do momento em que são gerados, os REEE podem seguir por três caminhos principais: recondicionamento, cadeia da reciclagem ou destinação final (aterros sanitários e especiais, lixões, locais clandestinos ou inapropriados), conforme o fluxograma abaixo.

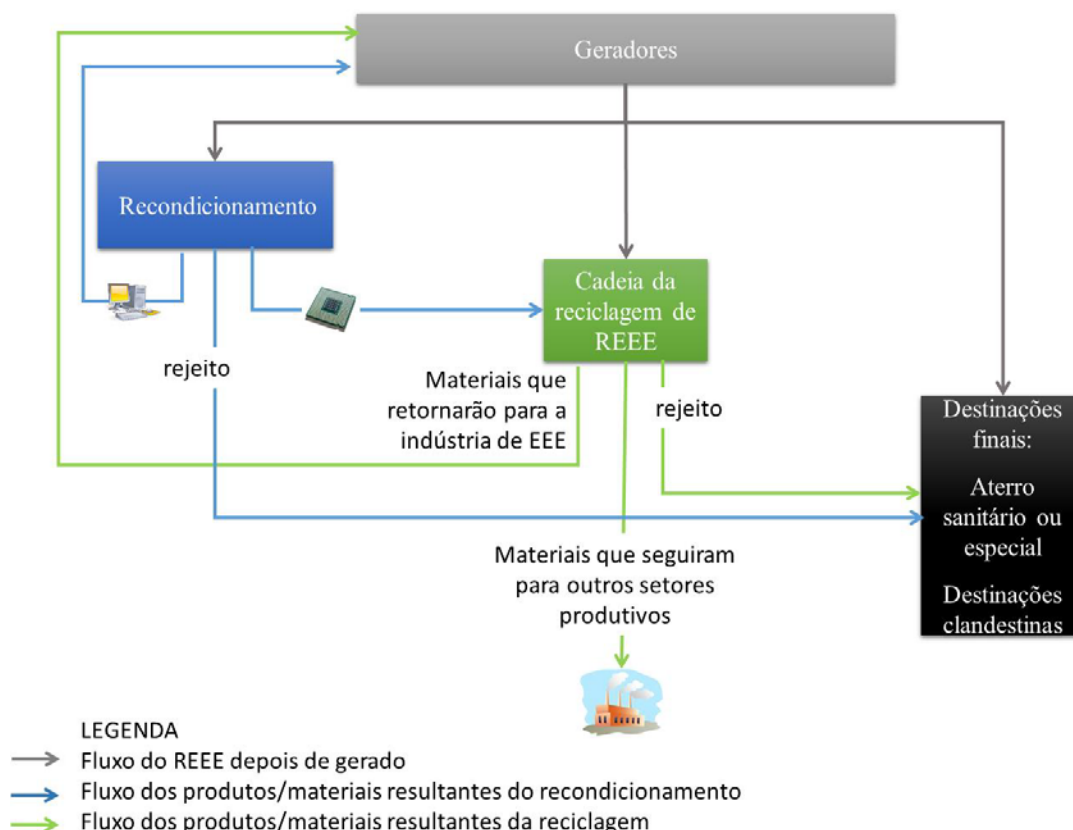


Figura 1: Fluxograma com os principais caminhos dos REEE após sua geração.

Os destinos dos REEE são diferentes de acordo com o tipo de gerador, podendo ser classificados em (1) instituições públicas e privadas e (2) consumidores. As instituições públicas e privadas podem ser configuradas como grandes geradores de REEE pelas quantidades que geram: para o sistema, os resíduos são gerados de forma concentrada, o que reduz o custo do transporte entre os processos, além de poderem ser mais homogêneos favorecendo a remanufatura e a reciclagem. Identificou-se que, mesmo que os REEE originados pelos grandes geradores não tenham homogeneidade, eles ainda são atrativos para o mercado, se transformando com frequência em uma fonte de receita para o gerador.

Além dessas considerações mercadológicas dos REEE, existem exigências (tais como condicionantes de licenças ambientais, regras do mercado internacional *etc.*) que obrigam os grandes geradores destinarem adequadamente seus resíduos. Para comprovar a destinação adequada desses resíduos é necessário que a(s) empresa(s) que irá(ão) transportar e receber o resíduo, para a devida disposição final, seja(m) licenciada(s) para tais atividades. No caso das instituições públicas, os REEE geralmente passam por um processo de desfazimento do patrimônio e depois são realizados processos licitatórios, leilões e/ou doações.

Por sua vez, os consumidores geram os REEE de forma pulverizada e em pequenas quantidades, o que torna oneroso o custo de logística reversa do processo. No âmbito legal, segundo a PNRS (BRASIL, 2010), os consumidores também são responsáveis pelos REEE e deveriam destinar esses materiais; porém, observam-se desconhecimento e desinteresse referente às possíveis destinações adequadas, e que há insatisfação pelos

² Essas empresas estão localizadas principalmente em São Paulo em função da distância (o custo do frete compensa a coleta de materiais de grandes geradores) e de ser o principal parque industrial do Brasil neste setor.

preços cobrados, pelas empresas privadas, por esses serviços. Depois de gerados, os REEE podem seguir pelo menos três caminhos (ver Figura 1): recondicionamento, cadeia da reciclagem ou destinação final.

RECONDICIONAMENTO

Segundo Xavier e Carvalho (2013), os REEE podem seguir para a fase de recondicionamento “por meio da manutenção, com a finalidade de recuperação da função do produto para o mesmo objetivo para o qual foi desenvolvido ou para outros fins”. Neste caso, são processados, sobretudo pelas oficinas de reparação de equipamentos eletroeletrônicos. Em outros casos, os REEE seguem para o recondicionamento (recuperação) e a metarreciclagem, que consiste na desconstrução do lixo tecnológico para reconstrução da tecnologia, onde são processados principalmente por instituições públicas ou por Organizações Não Governamentais (Figura 2).

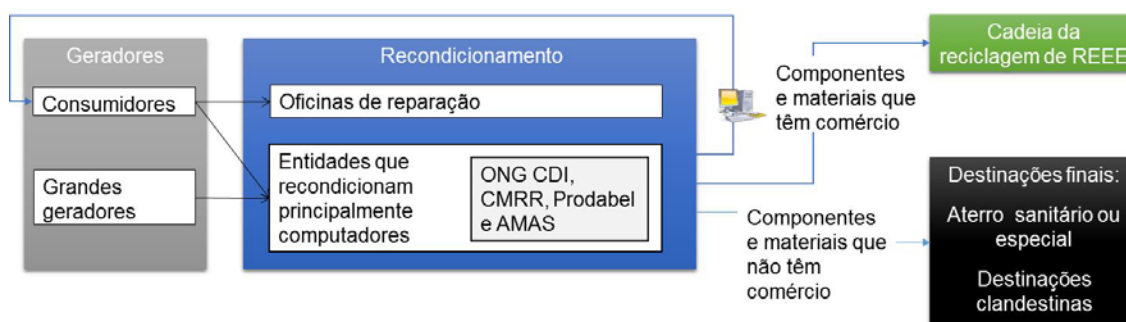


Figura 2: Atividade de recondicionamento dos REEE.

As oficinas de reparação são geralmente empresas pequenas e estão espalhadas geograficamente em Belo Horizonte, de acordo com levantamento bastante representativo (não exaustivo) realizado em 116 oficinas. Elas possuem em média 3 funcionários e recondicionam uma ampla gama de equipamentos eletroeletrônicos abrangendo todas as linhas (branca, verde, marrom e azul). A linha branca representa 6% das oficinas, a linha verde 39%, a linha marrom 24%, a linha azul 10%, e 21% atuam em mais de uma linha. Do número total de oficinas, 35% delas existem há menos de 9 anos, 31% entre 10 e 19 e 34% têm mais de 20 anos. Foi diagnosticado que parte das oficinas comercializa os resíduos gerados (ex.: plásticos, vidros e sucatas metálicas em geral; fios; PCI; baterias etc) para outros atores da cadeia da reciclagem (catadores autônomos, sucateiros e ferros-velhos) e/ou os destinam para a coleta convencional municipal, junto com os resíduos domésticos.

Foram identificadas em Belo Horizonte e região apenas três³ entidades que trabalham com o recondicionamento de equipamentos de informática (*desktops*, monitores, *laptops*, impressoras, estabilizadores, modem, teclados, *mouses* etc), sendo que duas (AMAS⁴ e PRODABEL⁵) são vinculadas à Prefeitura e outra é uma Organização Não Governamental (CDI⁶). Elas recebem os equipamentos por meio de doações de entidades públicas, privadas e de consumidores. Os computadores são recondicionados por técnicos, monitores e alunos, já que essas entidades atuam também na capacitação, principalmente de jovens, no serviço de metarreciclagem, manutenção e recondicionamento de computadores. Os computadores

³ Ao longo desta pesquisa uma das entidades parou de trabalhar com a recuperação de REEE.

⁴ A Associação Municipal de Assistência Social (AMAS) é uma sociedade civil de direito privado criada para desenvolver atividades sócio-assistenciais para os segmentos sociais menos favorecidos de Belo Horizonte. Recebem material eletrônico em geral, como telefones celulares, *Ipod* etc. (Fonte: <https://www.facebook.com/amashb/info?tab=page_info>. Acesso em: 15 mai. 2015).

⁵ A PRODABEL é uma empresa municipal de informática e informação, e possui um Centro de Recondicionamento de Computadores (CRC). Suas principais atividades são: recondicionamento de computadores e oferecimento de cursos de capacitação. (Fonte: <<https://prodabel.pbh.gov.br/content/tecnologia-servi%C3%A7o-do-cidad%C3%A3o>>. Acesso em: 15 mai. 2015).

⁶ O Comitê para Democratização da Informática (CDI) é uma ONG de inclusão digital que busca, por meio de soluções sustentáveis e da inovação social, promover o desenvolvimento das comunidades, oferecendo cursos básicos e avançados, e também com a oferta de serviços para a população local e do entorno, sempre em benefício da própria comunidade. Recebem materiais eletroeletrônicos em geral: só não recebem televisões, geladeiras e fogões. (Fonte: <<http://www.cdimg.org.br/pagina.php?id=1>>. Acesso em: 15 mai. 2015).

recuperados são doados para projetos/entidades com fins sociais, tais como projetos de inclusão digital, escolas e centros comunitários. Essas atividades são custeadas pelo poder público municipal (possuem convênios também com o governo federal), por recursos provenientes de fundações, por doações de empresas e pessoas físicas (no caso da ONG).

Os rejeitos do processo são encaminhados para empresas da cadeia da reciclagem, que separam os materiais: os que têm valor são direcionados para a reciclagem, e os que não têm são destinados, em geral, a aterros sanitários. Os rejeitos gerados no processo são os componentes [*drives*, leitores de CD e DVD, Placas de Circuito Impresso (PCI), monitores] que não funcionam mais e os materiais que constituem as carcaças dos equipamentos. No caso das entidades públicas, a empresa contratada, via processo licitatório, para retirar os resíduos não cobra pelo serviço, ou seja, a receita proveniente da venda dos materiais paga no mínimo os custos de transporte, separação e destinação desses materiais.

CADEIA DA RECICLAGEM

A identificação dos atores que compõem a cadeia da reciclagem de REEE acaba ficando comprometida devido à elevada informalidade do setor: 30% deste setor seriam informais (CEMPRE, 2011; *apud* KOBAL *et al.*, 2013). A cadeia de reciclagem de REEE pode ser compreendida através de 4 etapas: geração, coleta, descaracterização e beneficiamento/transformação. A primeira etapa (geração) consiste do descarte dos equipamentos que não têm mais valor de uso para o seu detentor. A etapa de coleta garantirá que os REEE cheguem até a descaracterização, compreendendo as atividades de transporte, estocagem e comercialização. A descaracterização é caracterizada pela separação dos diferentes componentes e materiais que compõem os REEE, tais como as PCI, os plásticos, metais, vidros e baterias. Por último, o beneficiamento/transformação compreende tanto as atividades necessárias para transformar os materiais em matéria prima para processos industriais (beneficiamento) quanto às atividades necessárias para transformar a matéria prima em produtos de consumo final (transformação), sejam eles equipamentos eletroeletrônicos ou outros. O Fluxograma 3 sintetiza as etapas da cadeia de reciclagem de REEE e os atores que atuam nela (ver elementos discutidos no texto).

Os REEE gerados pelos consumidores são direcionados para:

- [A] Distribuidores e comerciantes: os consumidores, segundo a PNRS (Brasil, 2010) devem devolver os REEE após o uso, a esses atores; porém, este ainda não é um canal logístico relevante⁷ no contexto de Belo Horizonte, embora alguns comerciantes/distribuidores recebam alguns tipos de REEE (por exemplo, as lojas que comercializam celulares [J]);
- [B] Catadores autônomos: são pessoas que vendem os REEE, que foram gerados por outras pessoas, à etapa subsequente do processo. Como o fluxo B é um processo informal e que envolve muitas pessoas dispersas geograficamente, é difícil identificar esses atores e estimar quantidades, embora eles sejam fornecedores importantes de materiais para o elo subsequente do processo;
- [C] ONG: é uma Organização Não Governamental que possui ecopontos e faz campanhas de recolhimento de REEE gerados por consumidores. Em 2013 ela arrecadou e destinou à correta reciclagem 375 toneladas de REEE;
- [D] Associações e/ou Cooperativas de Catadores (AC): são entidades que processam materiais recicláveis provenientes da coleta seletiva da Prefeitura de Belo Horizonte; porém, existem consumidores que destinam de forma equivocada⁸ alguns tipos de REEE junto com os materiais recicláveis. Na cidade existem seis AC que recebem materiais provenientes da coleta seletiva e a quantidade de REEE processada por esses grupos é insignificante, tanto em relação à quantidade total processada, quanto em relação à quantidade processada por outros atores que compõem a cadeia produtiva.

⁷ Ainda não foi realizada nenhuma análise sistemática deste canal logístico, porém os atores que estão envolvidos na etapa de descaracterização não citam os distribuidores como fornecedores do processo, indicando que este ainda não é um canal logístico relevante. Existe a hipótese de que os materiais recolhidos pelos distribuidores sejam coletados por empresas que atuam nacionalmente e sejam enviados para outras regiões do Brasil.

⁸ Formalmente, a população de Belo Horizonte é responsável pelos REEE classificados como “Resíduos Sólidos Especiais”, devendo ser processados por métodos aprovados e licenciados pelos órgãos ambientais competentes, de acordo com a legislação específica, com as normas ambientais, com as disposições da lei, de seu regulamento e das normas técnicas da SLU (Lei municipal nº 10.534/2012).

- Sucateiros e ferros-velhos: são empresas que compram e comercializam sucatas em geral (metais ferrosos e não-ferrosos, plásticos e papeis), inclusive os REEE. Esses atores compram os REEE de catadores autônomos [K], de consumidores [D], de empresas privadas [E] e de outros sucateiros menores, descaracterizam esses equipamentos e depois os comercializam para sucateiros maiores ou para empresas beneficiadoras e transformadoras de REEE [R]. Esses atores processam grande parte do REEE gerado em BH; porém, devido à informalidade do setor, a quantificação desses atores fica comprometida.
- Empresas especializadas em descaracterização de REEE: são empresas que processam somente REEE. Foram identificadas quatro empresas, sendo duas delas da cidade, outra tem sede no estado de São Paulo e uma unidade em BH, e a última é uma multinacional cuja sede no Brasil fica em São Paulo (em Belo Horizonte, possuem dois galpões de estoque, descaracterização e triagem de placas de REEE). Esses atores executam as mesmas atividades que os sucateiros e ferros-velhos, bem como compram e comercializam os REEE com os mesmos atores que eles.

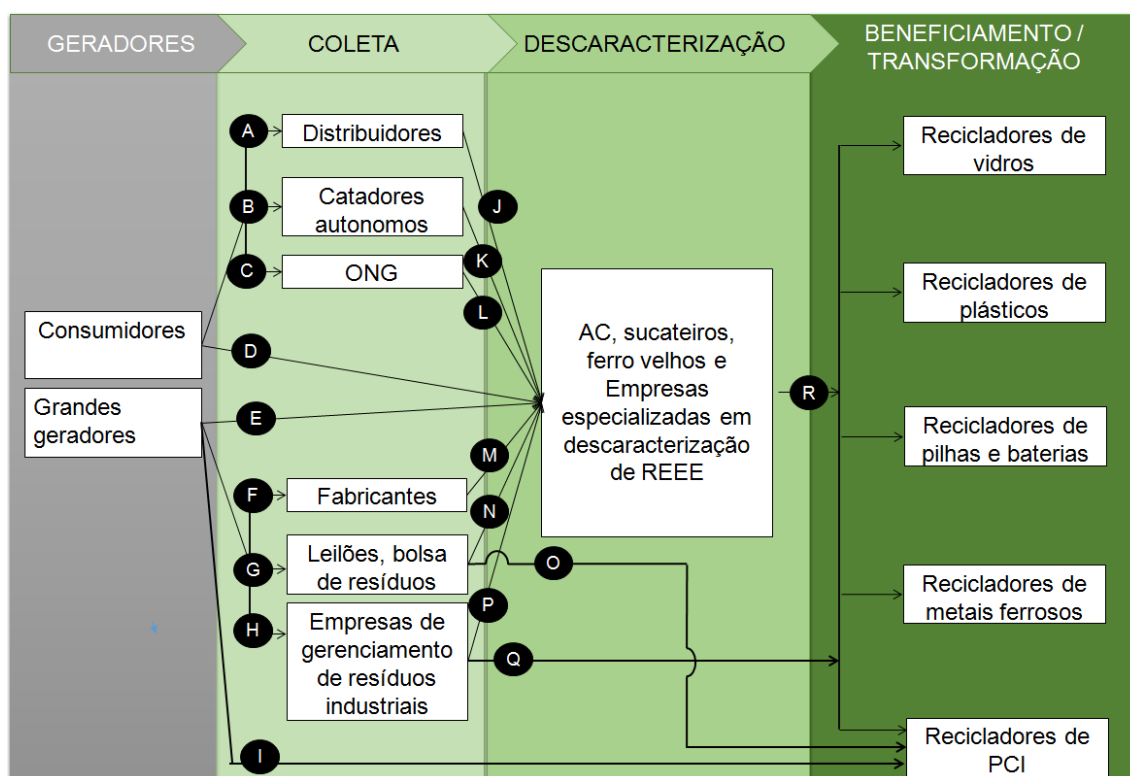


Figura 3: Fluxograma com as relações entre atores da cadeia de reciclagem de REEE.

Já os materiais gerados pelos grandes geradores seguem para:

- [E]
 - Sucateiros, ferros-velhos (conforme descrição acima);
 - Empresas especializadas na descaracterização de REEE (conforme descrição acima)
- [F] Fabricantes: identificou-se que alguns fabricantes possuem uma estrutura de logística reversa, oferecendo aos seus clientes, entidades públicas e privadas, a coleta depois de finalizado a vida útil dos equipamentos fornecidos por elas.
- [G] Leilões: as empresas que organizam leilões, assim como o projeto Bolsa Resíduos da FIEMG⁹, promovem a venda dos REEE, geralmente para sucateiros, ferros-velhos, empresas especializadas em

⁹ Sistema Integrado de Bolsa de Resíduos (SIBR) é um serviço gratuito de informações de oferta, procura e doação de resíduos. É uma iniciativa da Confederação Nacional da Indústria (CNI) que promove as transações a nível nacional, sendo a união de diversas Bolsas de Resíduos existentes no Brasil em um único sistema virtual. Objetiva contribuir para a redução de custos e de passivos ambientais da indústria, além de ser uma fonte de pesquisa para o mercado de recicláveis e

descaracterização [N] e para recicladores de PCI [O], atuando na etapa de coleta. Existem leilões via *internet* e presenciais, geralmente realizados em São Paulo.

- [H] Empresas de gerenciamento de resíduos industriais: atuam na coleta, comercializando os materiais para empresas especializadas em descaracterização de REEE [P] e algumas dessas empresas atuam também na descaracterização de REEE, comercializando os materiais para recicladores [Q].
- [I] Recicladores de PCI: esses atores, além de comprar materiais das empresas que descaracterizam e coletam REEE [R], também compram esses resíduos por meio de leilões e de bolsa de resíduos [O] e fazem contratos com grandes geradores para garantir o aprovisionamento de materiais direto da fonte geradora desses resíduos [I].

Os REEE que seguem para a cadeia da reciclagem estão sujeitos somente às questões mercadológicas, já que não existem políticas públicas municipais, estaduais e/ou federais relativas a esta reciclagem que estejam funcionando na prática. Assim, os materiais que têm alto valor no mercado, como as PCI provenientes de computadores e celulares e processadores, são bastante disputados pelos diversos atores que compõem a cadeia. Os materiais que têm baixo valor, tais como sucata plástica e vidros, não têm sua destinação na assegurada pelo mercado. E os materiais que têm elevado custo para serem tratados e destinados de forma ambientalmente correta não seguem para a cadeia da reciclagem. O *mix* de materiais que os diferentes atores processam é diferenciado. Essas e outras considerações são discutidas por etapa da cadeia produtiva nos tópicos a seguir.

COLETA

Foi identificado na pesquisa o estabelecimento de algumas estratégias de aprovisionamento de materiais proveniente dos consumidores:

1. Compra: alguns atores compram REEE dos consumidores que levam os equipamentos até eles. Assim, os consumidores e catadores arcam com o custo de transporte e recebem uma quantia financeira baseada no preço dos materiais no mercado;
2. Pontos fixos de coleta: são locais onde os consumidores podem direcionar os REEE; assim, os consumidores doam os materiais e assumem o custo do transporte. Esses pontos de coleta podem ser em locais negociados pelos atores ou nas próprias unidades das empresas, que podem funcionar como pontos de coleta. Esses atores restringem os tipos de resíduos que eles recebem em função do valor: por exemplo, alguns não recebem televisores/monitores e geladeiras, pois é preciso pagar para destiná-los corretamente.
3. Campanhas de recolhimento: são eventos organizados pelos atores que recolhem os materiais em datas e locais específicos: não são portanto ocasiões permanentes. Os atores viabilizam essas atividades através de parcerias com outras entidades, como o poder público, empresas, universidades e escolas.
4. Coleta domiciliar: é um serviço oferecido pelas empresas especializadas em descaracterização de REEE (ONG e alguns sucateiros), mediante o pagamento de uma taxa. O serviço pode ser gratuito se a quantidade a ser doada e o tipo de material justificarem o transporte (estabelecimento de lote mínimo).
5. Coleta de catador: funciona quando o catador coleta os materiais e os comercializa com algum outro ator (sucateiro, ferro-velho). O catador assume os custos de transporte e recebe uma quantia referente à venda deles. Coleta somente os materiais que têm valor no mercado, que mostra oscilações sazonais;
6. Coleta seletiva: é o sistema de coleta seletiva (de tipo porta-a-porta) estabelecido pela Prefeitura municipal através de sua Superintendência de Limpeza Pública. Apesar de não ser considerada adequada para recolher esse tipo de material, os consumidores acabam destinando parte dos REEE para este canal.

O Quadro 1 relaciona as estratégias de coleta com os atores identificados na pesquisa.

de gerar fontes de receitas para as empresas a fim de otimizar ainda os processos de gestão de resíduos, incentivando a reciclagem (Fonte: <http://www.sibr.com.br/sibr/index_bolsa.jsp>. Acesso em: 08 mai. 2015)

Quadro 1: Estratégias de coleta em função da atividade dos atores identificados

Atividades	Atores	Estratégia de coleta	Observação
Coleta	Catador autônomo	Coleta de catador	-
	Distribuidores	Pontos fixos de coleta	- Distribuidores de alguns tipos de REEE também estabelecem suas lojas como pontos de coleta, como algumas lojas de venda de telefones celulares ou lojas de venda da linha branca (recebem de volta o equipamento mediante a apresentação da nota fiscal de compra).
	ONG	Pontos fixos de coleta, coleta domiciliar e campanhas de recolhimento	- Ator troca REEE por <i>voucher</i> de passagens aéreas, em pontos fixos e nas campanhas de recolhimento; - Estratégia viabilizada pela parceria entre a empresa aérea (motivada por interesses de <i>marketing</i> e ações na área de responsabilidade ambiental), e a ONG, que destina corretamente os materiais.
Coleta, triagem e descaracterização de REEE	Associações e cooperativas de catadores (AC)	Coleta seletiva	-
	Sucateiros e ferro velho	Compra e coleta domiciliar	- Preço de compra de REEE: entre R\$0,20/kg e R\$0,25/kg (em Belo Horizonte e região).
	Empresas especializadas em REEE	Compra, pontos fixos de coleta, coleta domiciliar e campanhas de recolhimento	- Preço de compra de REEE: entre R\$0,20/kg e R\$0,40/kg (em Belo Horizonte e região). - Coleta domiciliar: lote mínimo 5 equipamentos, se menor, cobra-se taxa de R\$30,00 para coletar (em Belo Horizonte e região).
Beneficiamento e transformação	Processamento de PCI ¹	Compra, pontos fixos de coleta, coleta domiciliar	- Estabelece pontos de coleta em prédios residenciais e condomínios.

Foram identificadas algumas estratégias dos atores para captar REEE provenientes dos grandes geradores, tais como o estabelecimento de contratos com as matrizes das empresas geradoras, o oferecimento de outros serviços que possam agregar valor para a empresa geradora de resíduo, a participação em leilões e em licitações públicas.

DESCARACTERIZAÇÃO

A descaracterização é a primeira etapa que gera valor de uso aos materiais, através da separação dos componentes e materiais que compõem os REEE, fornecendo matéria prima para outros processos industriais. O Quadro 2 apresenta os preços dos diferentes materiais que compõem os REEE.

Todos os atores, com exceção das empresas de processamento de metais ferrosos, separam os materiais manualmente. Essa atividade é feita geralmente em bancadas e mesas, com o auxílio de máquinas e ferramentas, tais como desparafusadeiras (elétricas ou pneumáticas), serras, esmeril, marretas e chaves de fendas. Observam-se também catadores autônomos realizando de modo improvisado essa atividade pelas ruas, retirando os materiais com valor dos REEE e deixando as carcaças e os materiais contaminantes sobre os passeios.

Quadro 2: Preços¹⁰ de materiais em Belo Horizonte

Materiais	Preço (R\$/kg)	Materiais	Preço (R\$/kg)
Ferro	R\$ 0,25	Placa marrom	R\$ 0,15
Plásticos	R\$ 0,12	Processador de plástico	R\$ 40,00
Alumínio	R\$ 2,50	Memória dourada	R\$ 20,00
Placa mãe	R\$ 12,00	Cooler	R\$ 0,10
Placa leve com ponteira	R\$ 10,40	HD	R\$ 2,40
Placa leve sem ponteira	R\$ 10,00	Fio encapado	R\$ 3,00
Placa DVD	R\$ 2,80	-	-

No caso das empresas de processamento de metais ferrosos, os REEE classificados como sucata de obsolescência¹¹, são prensados, triturados; depois, é feita separação mecânica dos metais ferrosos, não ferrosos e do restante do material, que é enviado para cimenteiras (co-processamento) ou para aterros. Por exemplo, geladeiras são prensadas e trituradas com espuma, plásticos e vidros das divisórias e das gavetas internas, que depois da separação dos metais ferrosos e não ferrosos seguem para as cimenteiras ou para aterros.

Uma prática observada nesses atores é que eles comprem os materiais já sem alguns componentes contaminantes: por exemplo, celulares sem baterias, bobinas de cobre proveniente de monitores, TV sem tubos de raios catódicos e carcaças de geladeiras sem gás. Assim, os atores envolvidos nesta etapa transferem para os geradores e para os atores da coleta a responsabilidade pelos contaminantes, eximindo-se da responsabilidade por esses resíduos.

Já os materiais e equipamentos provenientes dos grandes geradores, que têm responsabilidade legal pelos resíduos gerados, geralmente são destinados para empresas que fornecem os certificados de destinação correta. Esses atores são formalizados e destinam corretamente os materiais. Como essas atividades envolvem mais custos (além da descaracterização, também tratamento e destinação), os REEE são avaliados por lotes e o preço é estabelecido pelas características desses materiais. Assim, se o lote for composto predominantemente de monitores de CRT, os grandes geradores irão pagar pela correta gestão; por outro lado, se o lote for composto de computadores, então eles irão receber.

BENEFICIAMENTO E TRANSFORMAÇÃO

Nesta etapa, os REEE já estão descaracterizados e os diferentes materiais e componentes vão seguir processos distintos; assim, é necessário analisar os processos por materiais: PCI, metais, plásticos, vidros e pilhas e baterias. No caso dos vidros e das pilhas e baterias, não existem empresas recicladoras em Belo Horizonte e região: acabam seguindo para a destinação final.

RECICLADORES DE PCI

As Placas de Circuito Impresso (PCI) são classificadas inicialmente em duas grandes categorias: placas verdes (feitas com resina epóxi, fibra de vidro e cobre) e placas marrons (feitas com papel e resinas fenólicas). As placas marrons, presentes nos eletrodomésticos, televisores, brinquedos, têm baixo valor no mercado, com preços variando entre R\$0,15/kg e R\$0,40/kg; os preços das placas verdes, dos equipamentos de informática e telecomunicações, equipamentos que possuem especificações mais severas, vão até R\$15,00/kg.

As PCI e os processadores são os componentes mais valiosos presentes nos REEE, sendo disputadas pelos atores que compõem a cadeia da reciclagem devido ao elevado teor de metais nobres que contêm. Existem atores que comprem as placas baseadas na quantidade de metais nobres que eles conseguem extrair delas. A

¹⁰ Preços referentes a junho de 2014.

¹¹ Os REEE que seguem para as empresas de processamento de metais ferrosos são constituídos predominantemente de metais ferrosos, como os equipamentos da linha branca (geladeiras, fogões e máquinas de lavar) e da linha azul (ferro e torradeira).

maior parte das placas processadas pelos atores que coletam e descaracterizam REEE em Belo Horizonte e região é enviada para fora de Minas Gerais, geralmente para São Paulo. Parte é processada lá mesmo e parte placas é exportada. Existe apenas uma empresa em Belo Horizonte e região que processa aproximadamente 3t/mês de PCI, realizando a separação dos componentes e os processos químicos visando à produção de ligas metálicas.

Foi identificado na pesquisa que atores informais retiram metais nobres das placas com procedimentos perigosos e com utilização de substâncias proibidas.

RECICLADORES DE METAIS

Os recicladores de metais ferrosos (empresas do setor de siderurgia) compram os REEE que são compostos predominantes por metais ferrosos. Como dito no item descaracterização deste artigo, os REEE, misturados às sucatas de obsolescência, são prensados e triturados inteiros e depois os metais ferrosos são separados por separadores magnéticos. Este processo mecânico de separação é bastante eficiente pelo fato do ferro ser atraído por ímã, o rendimento metálico da sucata de obsolescência é de 78%. A sucata ferrosa então segue para as aciarias. As aciarias elétricas são adaptadas para processar sucata de obsolescência, podendo corresponder a até 94% da matéria prima usada.

Existem 4 siderúrgicas¹² que compram sucata proveniente dos REEE em Belo Horizonte e região. Na empresa visitada a sucata de obsolescência é prensada em BH e região e as etapas subsequentes são feitas em outros Estados.

RECICLADORES DE PLÁSTICOS

Os plásticos provenientes dos REEE são de diversos tipos: poliestireno (PS), polipropileno (PP), acrilonitrila butadieno estireno (ABS), estireno-acrilonitrila (Sangel), policarbonato (PC), polióxido de metileno (POM) e outros. Com exceção do PS e do PP, o restante dos plásticos é classificado como plástico de engenharia, que segundo a ABIPLAST (2015) representa 11,8% da produção de plástico nacional. Foram identificado dois tipos de processamento dos plásticos: reciclagem mecânica e o coprocessamento em cimenteiras.

A reciclagem mecânica consiste na transformação do plástico em grânulos e posteriormente na sua transformação em produtos, como embalagens, mangueiras, peças de carros *etc.* O processo de transformação consiste basicamente na moagem, lavagem, aglutinação, extrusão (produção do grânulo) e injeção. Os plásticos de engenharia reciclados são direcionados principalmente para os setores automobilístico e eletroeletrônico, correspondendo esses a cerca de 65% do total da matéria prima desse setor (PLASTIVIDA, 2013). Foi identificada dificuldade dos atores que coletam e descaracterizam REEE em comercializar o plástico, indicando que existe muita informalidade. Não existem muitas empresas no setor e o valor desses plásticos é baixo no mercado (R\$0,12/kg). A informalidade é acentuada pelo perfil das empresas recicladoras de plásticos: segundo a ABIPLAST (2015), 93,4% das empresas de transformados de plástico são micro e pequenas. Foi identificada apenas uma empresa que processa os resíduos plásticos provenientes de uma empresa produtora de EEE, ou seja, resíduo pré-consumo.

Como as empresas que fazem reciclagem mecânica são informais, a alternativa que alguns atores que descaracterizam REEE e que precisam de certificados de destinação correta acharam foi encaminhar os plásticos para as indústrias cimenteiras, nas quais os plásticos seguem para o coprocessamento, ou seja, são utilizados como combustível na produção do clínquer (matéria prima para a produção de cimento).

DESTINAÇÃO FINAL

São três destinos finais que os REEE podem ter em Belo Horizonte e região: aterro sanitário, aterro industrial, destinações clandestinas. Sabe-se que parte dos REEE acaba sendo dispensada de maneira inadequada pela população junto com os resíduos domésticos ou outros RS – poda, entulho, volumosos – que, não sendo

¹² Foi feita visita técnica a apenas uma siderúrgica: os dados apresentados se referem a ela.

coletados pelos procedimentos convencionais (Figura 5), são encaminhados para as URPV. Foi observado também que algumas oficinas de reparação, assim como alguns atores da cadeia da reciclagem, acabam direcionando os resíduos dos seus processos (materiais e componentes que não são comercializados) para a coleta convencional do município. Esses resíduos são encaminhados para aterro sanitário privado, em Sabará (MG). Os REEE podem contaminar o aterro, que não é preparado para receber este tipo de material.



Figura 5: Destinação inadequada de REEE (monitor de computador) na coleta domiciliar convencional (esq.) e na entrega às URPV (dir.).

Observou-se também que uma parte do REEE é dispensada pela população junto com os resíduos de construção civil (RCC) nas URPV¹³ ou em caçambas, de onde são enviados para algum aterro da região não adaptado para receber este tipo de resíduo. Uma parte dos REEE gerados, principalmente pela indústria, é direcionada para aterros industriais (Classe I - Resíduos Perigosos). Os REEE também são descartados de forma incorreta e em locais inadequados, em encostas, corpos d'água, terrenos baldios e em margens de rodovias, contaminando o solo e o lençol freático e, por conseguinte, os animais e seres humanos.

Franco (2008) lembra que as substâncias tóxicas estão, em sua maioria, presentes nos materiais de forma inerte, ou seja, o manuseio dos REEE sem danificá-los em princípio não contaminaria o meio ambiente e os seres humanos. Ainda assim, atenção especial deve ser dada aos monitores de televisão, computadores, compressores de aparelhos de refrigeração e capacitores eletrolíticos que, se desmontados, liberam substâncias contaminantes.

CONCLUSÕES

Em Belo Horizonte não existe um sistema formal de gestão dos REEE, embora já exista um mercado incipiente que recupera parte desses materiais. O fato do mercado reger a recuperação dos REEE traz algumas consequências para o sistema: materiais contaminantes, como baterias, “desaparecem” do processo (são descartados de maneira inapropriada) e materiais gerados pelos consumidores (pessoas físicas) de maneira pulverizada mostram baixas taxas de recuperação (a logística de coleta é custosa para as empresas).

Na maioria das cidades da região não se cobra taxa de limpeza pública, sendo, portanto todos os serviços bancados pelo orçamento municipal. Em particular concernente à coleta e à disposição de REEE, a situação ainda é mais delicada, visto que as prefeituras não têm práticas de registro, havendo assim um comércio paralelo, sem controles fiscais e ambientais. Algumas cooperativas e associações de catadores ensaiam passos para participarem também da reciclagem destes resíduos, em condições precárias de trabalho e sem que o mercado sinalize, de maneira inequívoca, o interesse – representado pelo valor monetário destes resíduos – em participar da gestão.

¹³ URPV (unidade de recebimento de pequenos volumes) é o nome dado em BH a pontos aos quais os usuários podem levar alguns tipos de resíduos sólidos (principalmente poda, objetos volumosos, entulho) em “pequenas” quantidades (máximo de 1m³ por descarga/dia). Não recebem restos de alimentos, animais mortos, resíduos líquidos e pastosos (óleo, lama, ácidos, graxas etc.) nem resíduos de saúde (SLU, 2014). No começo de 2014, havia 32 destes equipamentos espalhados pela cidade, a maioria dos quais com problemas de funcionamento, inclusive devido à precária forma de colaboração dos usuários. Tem sido cada vez mais observado o aporte de REEE a estes locais.

A Lei nacional de 2010 traz alguns elementos que reforçam a necessidade de ser feita uma gestão de RS digna deste nome, ajudando regulamentos locais (Belo Horizonte tem uma gestão às vezes referida como “moderna” e “eficiente”), em que os REEE não têm sido especialmente contemplados. Os REEE, até por seu eventual componente de perigo, enquadram-se numa categoria que exige uma gestão mais aprimorada, ainda que o mercado não precifique esta iniciativa a contento.

As limitações deste estudo estão relacionadas à investigação das empresas responsáveis pelo transporte de REEE que, em geral, se inserem na cadeia. Outro fator limitante deste trabalho fica acerca dos recicladores de outros metais (cobre, alumínio *etc.*) derivados dos REEE.

AGRADECIMENTOS

À FINEP, à CAPES, ao CNPq e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais) pelo apoio ao desenvolvimento deste estudo, e ao acadêmico de Eng. Ambiental Samuel Duarte, da UFMG, por sua colaboração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABDI (Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial). Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: análise de viabilidade técnica e econômica. Brasília (DF). 2013. 179 p.
2. ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica). Panorama econômico e desempenho setorial. São Paulo (SP). 2013. 36 p. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/abinee/decon/decon15.htm>>. Acesso em: 28 jan. 14.
3. Associação Brasileira da Indústria de Plástico (ABIPLAST). Perfil 2014: indústria brasileira de transformação de material plástico. 2015. Disponível em: <http://file.abiplast.org.br/download/links/2015/perfil_abiplast_2014_web.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2015.
4. BARROS, R. T. V. Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos. Belo Horizonte: Tessitura, 2012. 424 p.
5. BARROS, R. T. V.; LIMA, F. P. A.; VARELLA, C. V. S.; SANTOS, V. R. Análise da situação da produção de resíduos eletroeletrônicos (REEE) em Belo Horizonte e região. In: Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 12., 2014, (Natal): ABES, 2014. 12 p.
6. BELO HORIZONTE, Lei municipal nº 10.534/12 [Dispõe sobre a limpeza urbana (...) e dá outras providências].
7. BRASIL. Lei federal nº 12.305/2010 [Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (...) e dá outras providências].
8. CARVALHO, T. C. M. B.; XAVIER, L. H. (Org.). Gestão de resíduos eletroeletrônicos: uma abordagem prática para a sustentabilidade. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 240 p.
9. CMRR (Centro Mineiro de Referência em Resíduos). Diagnóstico da Geração de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE). BH (MG). 2010. 65 p.
10. FRANCO, R. Protocolo de referência para gestão de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos domésticos para o município de Belo Horizonte. Mestrado – Programa de pós-graduação em saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG. Belo Horizonte (MG), 2008, 162 p.
11. FRANCO, R. G. F.; LANGE, L. C. Estimativa do fluxo dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. Engenharia Sanitária e Ambiental, (ABES), v. 16, n. 1, p.73-82, 2011.
12. IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Disponível em: <<http://www.ibge.org.br>>. Acesso em: 15 abr. 15.
13. Instituto Socioambiental dos Plásticos (PLASTIVIDA). Monitoramento dos Índices de Reciclagem Mecânica dos Plásticos no Brasil (IRmP): ano base 2012. 2013. Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/2009/pdfs/IRmP/Apresentacao_IRMP_2012.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2015.
14. KOBAL, A.; SANTOS, S. M.; SOARES, F.; LÁZARO, J. Cadeia de suprimento verde e logística reversa - os desafios com os resíduos eletroeletrônicos. Produto & Produção, vol. 14 n.1, p.55-83, fev. 2013.
15. MINAS GERAIS, Lei estadual nº 18.031/2009 [Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos].
16. Relatórios internos parciais da pesquisa sobre tecnologias de valorização de REEE (2013-2015).
17. SUPERINTENDÊNCIA DE LIMPEZA URBANA (SLU/Prefeitura de BH), 2014. Disponível em: <<http://portalpbh.pbh.gov.br>>. Acesso em: 4 dez. 2014.