UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Nicolle Ongaro de Oliveira Santos

GESTÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS: ESTUDO DE CASO DE UMA EMPRESA EM JUIZ DE FORA-MG

Juiz de Fora
2018

Nicolle Ongaro de Oliveira Santos

GESTÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS: ESTUDO DE CASO DE UMA EMPRESA EM JUIZ DE FORA-MG

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista. Área de concentração: Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Profª. D.Sc. Júlia Righi de Almeida

Juiz de Fora
2018

Nicolle Ongaro de Oliveira Santos

GESTÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS: ESTUDO DE CASO DE UMA EMPRESA EM JUIZ DE FORA-MG

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista. Área de concentração: Engenharia Ambiental e Sanitária

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof[a] D.Sc. Júlia Righi de Almeida
Universidade Federal de Juiz de Fora

_____

Prof D.Sc. Otávio Eurico de Aquino Branco
Universidade Federal de Juiz de Fora

_____

Prof D.Sc. Samuel Rodrigues Castro
Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Agradecer significa mostrar gratidão, reconhecer algo e eu reconheço que jamais teria conseguido chegar ao fim dessa etapa sozinha, inúmeras pessoas participaram desse sonho das mais diversas formas e agora chegou o momento de agradecê-las.

Agradeço primeiramente e sempre a Deus por me guiar e iluminar em todos os caminhos que percorri e também por nunca ter deixado eu desistir nos meus inúmeros momentos de fraqueza, nos quais sempre pensava que não conseguiria chegar até aqui.

À minha família por todo o amor incondicional, apoio, compreensão, dedicação e por todo o suporte que sempre me deram para que eu vencesse na vida. Sem vocês não teria chegado onde cheguei, essa realização também é de vocês! Obrigada por sempre me proporcionarem o melhor que puderam.

Ao meu namorado que foi meu grande companheiro durante toda a faculdade, obrigada por todo o carinho, amor, apoio, atenção, amizade, compreensão e paciência, sei que não foi fácil para você também.

Aos meus amigos de Juiz de Fora que tornaram os dias difíceis mais leves e mais fáceis de encarar. Obrigada por também terem sido um suporte em momentos tão complicados.

À minha orientadora Júlia, obrigada por todos os ensinamentos passados, pela paciência, dedicação e atenção, sem sua ajuda eu também não conseguiria finalizar essa etapa tão importante.

A todos que de alguma forma estiveram comigo durante esses anos, o meu muito obrigada.

RESUMO

O volume de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) cresce cada vez mais impulsionado pelo consumismo e inovações tecnológicas. A alta concentração de metais pesados nesses aparelhos pode afetar negativamente a saúde humana e o meio ambiente quando descartados de forma incorreta. O Brasil está entre os países em desenvolvimento que mais produzem esse tipo de resíduo, tendo sido gerados 1,5 milhão de toneladas em 2016. Buscando compreender sua gestão no município de Juiz de Fora - MG, foi realizado um estudo de caso em uma empresa que coleta esse tipo de resíduo na cidade, a fim de levantar dados a respeito da quantidade e tipos de materiais recolhidos, além de informações sobre sua destinação final. Realizou-se também um questionário com os alunos da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) com o intuito de obter informações que possibilitassem avaliar a percepção dos estudantes em relação à geração e destinação correta desse resíduo. Além disso, foram feitas simulações de diferentes cenários de reciclagem para analisar os possíveis impactos que ocorreriam na vida útil da Central de Tratamento de Resíduos do município caso houvesse uma melhor gestão e reciclagem desse material. Com a separação do eletroeletrônico, para evitar que seja misturado com resíduos sólidos urbanos em um aterro convencional, evita-se a contaminação do solo pela migração do chorume. Sendo Juiz de Fora um polo industrial e tecnológico, há uma grande geração desse tipo de material na região, o que justifica a realização do estudo como forma de contribuir para a melhoria da gestão desses resíduos. Com a visita técnica, foram obtidos dados e informações a respeito da empresa, de como funciona seu trabalho e, além disso, pôde-se observar como é feito o gerenciamento desse tipo de resíduo. A partir da análise do questionário, foi possível perceber que muitos alunos possuem o conhecimento necessário para destinar corretamente esse tipo de resíduo, porém, ainda assim, uma parcela significativa destes não o faz. Por meio da simulação dos diferentes cenários de reciclagem desses resíduos em Juiz de Fora, notou-se que, apesar de não haver um aumento tão significativo na vida útil do aterro caso houvesse 100% de coleta, ainda assim, é necessário que isto seja feito com a maior eficiência possível já que o tratamento do chorume proveniente da junção dos REEE com os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) custa muito mais caro; além disso, quanto mais esses resíduos forem coletados e reciclados, maiores oportunidades de trabalho serão geradas e menores serão os impactos à saúde e ao meio ambiente. A partir da análise completa desses resultados, conclui-se que faltam educação ambiental e incentivos às empresas que buscam crescer com sustentabilidade.

ABSTRACT

The volume of waste electrical and electronic equipment (WEEE) is growing more and more driven by consumerism and technological innovations. The high concentration of heavy metals in these devices can adversely affect human health and the environment when discarded incorrectly. Brazil is among the developing countries that most produce this type of waste, generating 1.5 million tons in 2016. In order to understand its management in the city of Juiz de Fora, MG, a case study was carried out in a company which collects this type of waste in the city, in order to collect data on the quantity and types of materials collected, as well as information on its final destination. A questionnaire was also carried out with the students of the Faculty of Engineering of the Federal University of Juiz de Fora (UFJF) in order to obtain information that would allow the evaluation of students' perception regarding the generation and correct allocation of this residue. In addition, simulations of different recycling scenarios were carried out to analyze the possible impacts that would occur in the useful life of the Municipal Waste Treatment Center if there was a better management and recycling of this material. With the separation of the electro-electronic, to avoid that it is mixed with solid urban waste in a conventional landfill, the contamination of the soil by the slurry migration is avoided. Being Juiz de Fora an industrial and technological pole, there is a great generation of this type of material in the region, which justifies the study as a way to contribute to the improvement of waste management. With the technical visit, we obtained data and information about the company, how its work works and, in addition, it was possible to observe how the management of this type of waste is done. From the analysis of the questionnaire, it was possible to perceive that many students have the necessary knowledge to correctly allocate this type of waste, however, a significant portion of them does not. By means of the simulation of the different scenarios of recycling of these residues in Juiz de Fora, it was noticed that, although there was not a significant increase in the useful life of the landfill if there was 100% of collection, nevertheless, it is necessary that this be done with the highest possible efficiency since the treatment of slurry coming from the combination of WEEE with Urban Solid Waste (USW) costs a lot more; in addition, the more these wastes are collected and recycled, the greater the job opportunities generated and the lower the health and environmental impacts. From the complete analysis of these results, it is concluded that there is a lack of environmental education and incentives to companies that seek to grow with sustainability.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO 1

1.2 OBJETIVOS 2

1.2.1 OBJETIVO GERAL 2

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 2

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO 2

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 4

2.1 PANORAMA GERAL DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS NO MUNDO 4

2.2 PANORAMA GERAL DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS NO CONTINENTE AMERICANO 6

2.3 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA 8

2.3.1 BENEFÍCIOS DA LOGÍSTICA REVERSA 10

2.4 POLÍTICAS ESTADUAIS E DE EMPRESAS 11

2.5 SITUAÇÃO DA LOGÍSTICA REVERSA EM ÂMBITO FEDERAL E ESTADUAL 13

2.6 FORMAS DE TRATAMENTO DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS 14

2.7 IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE E À SAÚDE HUMANA 17

2.8 O MERCADO DE RECICLAGEM DO LIXO ELETRÔNICO 20

3. METODOLOGIA 22

3.1 QUESTIONÁRIO 22

3.1.1 A FERRAMENTA GOOGLE FORMS 24

3.1.2 ANÁLISE DOS DADOS 24

3.2 VISITA TÉCNICA 24

3.2.1 LOCALIZAÇÃO 25

3.2.2 HISTÓRICO DA E-AMBIENTAL E SEU PAPEL NA SOCIEDADE 26

3.3 CENÁRIOS 27

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 30

4.1 ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO 30

4.2 VISITA TÉCNICA 34

4.2.1 PROJETOS SOCIAIS E AMBIENTAIS.....41

4.2.2 DADOS SOBRE O MATERIAL RECEBIDO PELA EMPRESA 42

4.3 CENÁRIOS E IMPACTOS 43

4.3.1 CARACTERIZAÇÃO DA CENTRAL DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE JUIZ DE FORA 43

4.3.2 CENÁRIO 1 – 100% DE COLETA E RECICLAGEM 47

4.3.3 CENÁRIO 2 – 50% DE COLETA E RECICLAGEM 47

4.3.4 CENÁRIO 3 – 25% DE COLETA E RECICLAGEM 47

4.3.5 CENÁRIO 4 – 5% DE COLETA E RECICLAGEM (ATUAL CENÁRIO DE JUIZ DE FORA) 48

4.3.6 DISCUSSÃO DOS CENÁRIOS 49

5. CONCLUSÕES 51

REFERÊNCIAS 54

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A tecnologia está cada vez mais presente na vida das pessoas e isto se deu de forma muito rápida e intensa. As empresas criam cada vez mais produtos, sempre mais modernos, com melhores recursos que os anteriores e muitos deles não são feitos para durar. Tal trajetória de consumo tem levado países desenvolvidos a exportarem resíduos eletroeletrônicos para países em desenvolvimento, onde o gerenciamento é ineficiente e os resíduos eletroeletrônicos são capazes de causar grandes impactos. Uma quantidade imensurável destes resíduos vem sendo lançada no ambiente, sem os cuidados necessários que esses materiais requerem. Esse descarte irregular chama a atenção para a questão ambiental, pois a toxidade de alguns dos elementos agregados pode causar não apenas problemas de saúde pública, como também alterar a qualidade de diversos ecossistemas.

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010) instituiu que os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos eletroeletrônicos devem estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana.

Com a logística reversa, a destinação ambientalmente correta dos Resíduos Eletrônicos após sua vida útil permite a redução do resíduo descartado inadequadamente e promove a recuperação de materiais, sendo esta uma grande contribuição para a economia circular pois, assim, fecha-se o ciclo econômico, retirando o resíduo de seu túmulo (locais de descarte) e o levando novamente ao seu berço (fábrica). Segundo a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE), o próximo desafio para o setor será, além de avançar no aumento do volume coletado, integrar o conceito da economia circular na fabricação de novos equipamentos, tornando-os mais recicláveis e utilizando menos componentes de difícil tratamento.

Não há dúvidas de que o lixo eletrônico pode ser reciclado - e não é pouca coisa que sairia dali. O Global E-waste Monitor 2017 apurou que, entre outros materiais de valor, pode haver ouro, prata, cobre e platina nesse descarte. Estima-se que foram perdidos 55 bilhões de dólares no ano do estudo pelo não aproveitamento deste lixo. Apesar de essa ser uma tarefa complexa e que exige alta capacitação, existem processos mais simples para o reaproveitamento de algumas

partes das sucatas que podem dar vida nova a aparelhos quebrados e, ainda, ser usadas na construção de novos produtos.

Posto isso, torna-se cada vez mais relevante estudar este assunto, visto que a reutilização/reciclagem destes resíduos pode gerar impactos positivos e grandes oportunidades.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo geral trazer informações sobre a situação da gestão deste resíduo no Brasil e, mais especificamente, na cidade de Juiz de Fora – Minas Gerais.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicação de questionário online com foco nos estudantes de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora para avaliar sua percepção e conhecimento a respeito desse tipo de resíduo;

- Realização de visita técnica à empresa E-Ambiental, com o intuito de coletar dados e informações para avaliar o potencial de reaproveitamento e reciclagem dos resíduos eletroeletrônicos e o impacto positivo da implantação de sua logística reversa;

- Apresentação de diferentes cenários de reciclagem dos REEE na cidade de Juiz de Fora e avaliação do impacto causado na vida útil da Central de Tratamento de Resíduos do município.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos. No capítulo 1 é feita uma introdução do tema, a partir de uma contextualização e apresentação dos objetivos.

O capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica referente ao panorama mundial dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, a maneira como a legislação brasileira trata este assunto, as

formas de disposição final desse tipo de resíduo e também os impactos que estes podem causar à saúde humana e ao meio ambiente.

O capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada no trabalho, trazendo maiores explicações sobre o questionário aplicado aos estudantes de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora e também informações sobre a empresa estudada, sua localização e histórico.

No capítulo 4 são apresentados os resultados do questionário e da visita técnica à empresa, assim como a ilustração de cenários de reciclagem dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos em Juiz de Fora, além das respectivas discussões.

Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as considerações finais e principais conclusões.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

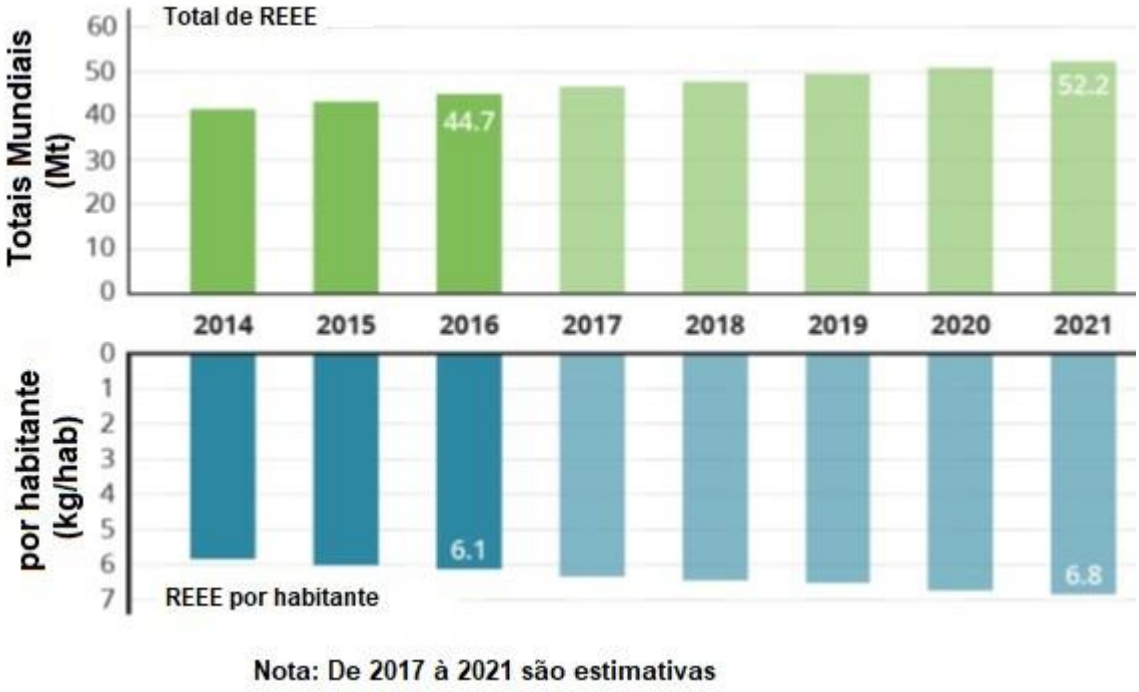
2.1 PANORAMA GERAL DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS NO MUNDO

Compatibilizar crescimento econômico com respeito ao meio ambiente é um desafio que ainda parece estar longe de ser equacionado pelo sistema capitalista. Ao privilegiar interesses econômicos em detrimento das questões ambientais e sociais, sua lógica contraria os fundamentos da sustentabilidade da vida presente e das gerações futuras. A geração cada vez maior de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), por exemplo, tem suas raízes no encurtamento da vida útil dos produtos e na inovação tecnológica que torna o novo já ultrapassado. Esses fatores, somados a uma crescente sociedade de consumo e à falta de planejamento do Estado para gerenciar os resíduos advindos do descarte de produtos eletroeletrônicos, evidenciam esse caráter insustentável (SANT'ANNA et al, 2014).

Se por um lado o mundo tem experimentado os benefícios dos avanços tecnológicos, por outro os produtos apresentam um ciclo de vida cada vez menor. Não só o tempo que se pode desfrutar da durabilidade do produto tem diminuído, mas, também, o desejo em permanecer com o mesmo. O aparelho celular novo de hoje pode ser velho no mês que vem quando outro mais avançado é lançado no mercado. Se o produto que não retorna à cadeia produtiva é descartado inadequadamente, vai se transformando em um amontoado sem precedentes em lixões a céu aberto e em outros locais inadequados (SANT'ANNA et al, 2015).

Como forma de ilustrar esse panorama, tem-se a mais recente edição do estudo Global E-Waste Monitor (ITU, 2017). De acordo com este documento, foram geradas 44,7 milhões de toneladas de resíduos eletroeletrônicos no mundo apenas no ano de 2016 – um crescimento de 8% desde 2014. O estudo também mostra que os equipamentos eletrônicos descartados – materiais com baterias, plugues, televisões, paineis solares, celulares, computadores – pesam juntos cerca de 4,5 mil torres Eiffel. Até 2021, os especialistas preveem um aumento de 17% no descarte desses materiais, com 52,2 milhões de toneladas geradas (figura 1).

Figura 1 – Estimativas de geração de REEE até 2021



Fonte: Modificado de The Global E-waste Monitor, 2017

Ainda de acordo com o relatório citado, apenas 20% (cerca de 8,9 milhões de toneladas) dos resíduos eletrônicos gerados em 2016 foram reciclados, mesmo muitas vezes tendo metais recuperáveis e de alto valor, como ouro, prata, cobre, platina e paládio, o que mostra, segundo Almeida (2018), que as oportunidades de negócio na reciclagem são muitas. Cerca de 4% de todos esses materiais são dispostos em aterros sanitários; 76% deles, ou 34,1 milhões de toneladas, provavelmente acabaram incinerados ou reciclados em operações informais, não necessariamente seguras, de acordo com o relatório.

O descarte per capita também apresenta uma tendência de crescimento (figura 1). Segundo o mesmo documento, a queda dos preços dos eletrônicos faz com que haja um consumo maior e, consequentemente, maior descarte dos dispositivos velhos. Como resultado, o desperdício médio desses materiais por pessoa no mundo foi de 6,1 kg em 2016, um aumento de 5% em relação aos 5,8 kg de 2014. Os países que mais geraram lixo eletrônico per capita foram a Austrália e a Nova Zelândia – cerca de 17 kg por habitantes. Taxa semelhante é vista em toda a Oceania. A região da Europa, incluindo a Rússia, é a segunda maior geradora desses resíduos, com uma média de 16,6 kg por pessoa. As Américas geram 11,6 kg per capita e a Ásia, 4,2 kg. Os países da África são os que menos produzem lixo eletrônico por habitantes, com 1,9kg, mas

são os que mais recebem esse resíduo, muitas vezes de forma clandestina (ALMEIDA, 2018 apud ITU, 2017).

Ainda de acordo com Almeida (2018) apud Itu (2017), os dados mostram que, todos os anos, até 90% desse material, com valor estimado em US$ 19 bilhões, são comercializados ilegalmente ou jogados no lixo comum.

A expressão popular "lixo eletrônico" é comumente usada para definir os produtos eletrônicos após o fim de sua vida útil. Porém, a terminologia mais adequada para computadores, celulares e eletrodomésticos descartados é a de resíduos de equipamentos eletrônicos, uma vez que, apesar de existirem substâncias perigosas embutidas em tais produtos, há também metais de alto valor que podem ser recuperados e fazer parte novamente do ciclo de produção (DWIVEDY E MITTAL, 2012). Prova disso é que alguns países da África e Ásia (China, Paquistão e Índia) estão importando em torno de 70% (setenta por cento) dos REEE fora de uso no mundo, a fim de reutilizar os equipamentos em programas de inclusão digital ou aproveitar partes deles devido ao valor econômico dos materiais envolvidos (BACHI, 2013).

Avanços ocorrem, mas a passos lentos. Itu (2017) também chama atenção para o avanço nas legislações sobre resíduos eletrônicos. Atualmente, 67 países têm regulação nesse sentido, 44% a mais que em 2014. Porém, leis sozinhas não resolvem o problema, é preciso fiscalizar a cadeia de produção e descarte, além de estimular a reciclagem adequada desses materiais. E, claro, também cabe aos consumidores realizarem compras de forma consciente e descartar corretamente estes resíduos.

2.2 PANORAMA GERAL DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS NO CONTINENTE AMERICANO

De acordo com o estudo "*Sustainable management of waste electrical and electronic equipment in Latin America*" (ITU, 2015), no continente americano, em 2014, a geração de resíduos eletroeletrônicos foi de 11,7 milhões de toneladas. Os três países que geraram a maior quantidade deste tipo de resíduo foram: Estados Unidos (7,1 milhões de toneladas), Brasil (1,4 milhões de toneladas), e México (1 milhão de toneladas). Ainda de acordo com o estudo citado, no ano de 2014, na América Latina, foram gerados cerca de 3,8 milhões de toneladas de resíduos eletroeletrônicos, sendo que, desse total, 52% dos resíduos eram provenientes do Brasil, 11%

da Argentina, 9% da Colômbia e 9% da Venezuela. Além disso, esse estudo também trouxe dados da geração de lixo eletrônico per capita, como pode-se verificar no quadro 1:

Quadro 1 - Estatísticas da geração de REEE na América Latina, 2014

País	Kg REEE/hab	Kilotoneladas REEE
Argentina	7,0	291,7
Bolívia	4,0	44,7
Brasil	7,1	1411,9
Chile	9,9	176,2
Colômbia	5,3	252,2
Equador	4,6	72,9
Peru	4,7	147,6
Paraguai	4,9	34,2
Uruguai	9,5	32,4
Venezuela	7,6	232,7
Guiana	6,1	4,7
Suriname	8,5	4,7

Fonte: Modificado de Baldé et al, 2015

Em 2014, a América Latina produziu 9% do lixo eletrônico (e-waste) do mundo, de acordo com um relatório da GSMA e do Instituto para Estudos Avançados de Sustentabilidade da Universidade das Nações Unidas (UNU-IAS). O estudo "*E-waste na América Latina: Análise Estatística e Recomendações de Políticas Públicas*" (UNU, 2015) apontou que, até o fim de 2018, o lixo eletrônico gerado pela população da região iria crescer entre 5 e 7% ao ano, com quase 4,8 mil quilotoneladas (kt) previstas até 2018. Este relatório foi encomendado para identificar os principais desafios relacionados com a gestão do lixo eletrônico na América Latina, com especial atenção para as oportunidades associadas à coleta e reciclagem de celulares. Ainda segundo o relatório, a média total de resíduos eletrônicos gerados em 2014 na América Latina foi calculada em 6,6 kg por pessoa, dos quais 29 g representa lixo eletrônico de celulares por pessoa na região, ou aproximadamente 0,3 celulares descartados por pessoa por ano. Além destas questões, o estudo também traz outra conclusão: apenas um pequeno número de países da América Latina tem leis específicas sobre o lixo eletrônico, a maioria está atualmente desenvolvendo legislação.

Apesar de o Brasil possuir uma norma legal (artigo 49 da Política Nacional de Resíduos Sólidos) que proíbe a importação de resíduos sólidos perigosos (como os componentes de REEE), o cenário brasileiro não é muito animador, já que o país é o maior gerador de REEE entre os emergentes (PNUMA, 2013) e o seu sistema de gestão do lixo eletrônico é ineficiente. Somado a isso, a PNRS encontra dificuldades em sua implementação no que se refere à coleta, reciclagem e logística reversa de diversos resíduos, principalmente os eletroeletrônicos (DEMAJOROVIC e MIGLIANO, 2013; DE OLIVEIRA, BERNARDES E GERBASE, 2012). Ademais, estudos apontam que ainda são escassas as pesquisas sobre os resíduos eletroeletrônicos no Brasil, principalmente no que diz respeito à gestão adequada da logística reversa desses resíduos (FRANCO E LANGE, 2011; DEMAJOROVIC E MIGLIANO, 2013). Por outro lado, a questão da globalização impede que se fale em plena autonomia e isolamento dos países, visto que decisões de produção, consumo, descarte e política podem criar situações insustentáveis em ecossistemas produtivos em locais distantes. Assim, a sustentabilidade de um país tem sido cada vez mais dependente da de outros e um problema como os REEE torna-se um problema global (KISSINGER, REES E TIMER, 2011).

2.3 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

No ano de 2010, foi promulgada a Lei 12.305, referente à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelos poderes públicos, com vista à prevenção e redução dos resíduos sólidos gerados no Brasil através da prática de atividades de consumo sustentável e um conjunto de princípios que incentivam a reciclagem e reutilização dos resíduos sólidos e/ou sua destinação correta (BRASIL, 2010). A PNRS foi regulamentada em dezembro de 2010 pelo decreto nº 7.404.

A expectativa de que poderia existir dados que quantificassem e qualificassem os eletroeletrônicos como resíduos perigosos com necessidade de descarte, reutilização e reuso adequados não foi o suficiente para complementar esta política (BACHI, 2013). Apenas foi citado no Artigo 33º o seguinte:

> “São obrigados a estruturar e implementar 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 dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de:
> I - agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, ou em normas técnicas;
> II - pilhas e baterias;
> III - pneus;
> IV - óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;
> V - lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;
> **VI - produtos eletroeletrônicos e seus componentes."** (BRASIL, 2010)

O ponto fundamental da PNRS é a obrigatoriedade de implantação de programas de Logística Reversa para o gerenciamento dos resíduos citados no artigo 33: pneus, resíduos e embalagens de agrotóxicos, medicamentos, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes, equipamentos eletroeletrônicos e óleos lubrificantes. Ou seja, através da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos entre governo, empresas e consumidores, há um impulso para o retorno dos resíduos às indústrias após o consumo dos produtos, obrigando o poder público a realizar planos para o gerenciamento do lixo, possibilitando, assim, o tratamento, reaproveitamento e descarte ambientalmente correto (BRASIL, 2010; WOLFF e CONCEIÇÃO, 2003).

Além disso, no dia 23 de outubro de 2017 foi publicado o decreto presidencial número 9.177, que regulamente o artigo 33 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. De acordo com o decreto:

> "Art. 1º Este Decreto estabelece normas para assegurar a isonomia na fiscalização e no cumprimento das obrigações imputadas aos fabricantes, aos importadores, aos distribuidores e aos comerciantes de produtos, seus resíduos e suas embalagens sujeitos à logística reversa obrigatória.

> Art. 2º Os fabricantes, os importadores, os distribuidores e os comerciantes de produtos, seus resíduos e suas embalagens aos quais se refere o caput do art. 33 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e de outros produtos, seus resíduos ou suas embalagens objeto de logística reversa na forma do § 1º do referido artigo, não signatários de acordo setorial ou termo de compromisso firmado com a União, são obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, consideradas as mesmas obrigações imputáveis aos signatários e aos aderentes de acordo setorial firmado com a União."

Este decreto veio para suprir a necessidade de uniformização e isonomia de todos os atores responsáveis pela implantação e operacionalização da logística reversa de eletroeletrônicos no Brasil, ou seja, os fabricantes, importadores, comerciantes e distribuidores destes produtos visto que, até o momento anterior à publicação do decreto, viam-se obrigados a cumprir a legislação de logística reversa somente aquelas empresas que assinaram um Acordo Setorial ou Termo de Compromisso. A partir da publicação do decreto, independentemente de a empresa assinar ou não, todas terão as mesmas obrigações, responsabilidade e custos aplicados.

2.3.1 BENEFÍCIOS DA LOGÍSTICA REVERSA

De acordo com o Relatório de Análise de Viabilidade Técnica e Econômica da ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial) do ano de 2013, o estabelecimento do sistema de logística reversa tem como principal virtude fortalecer o mercado da reciclagem no Brasil, podendo trazer benefícios que vão além do impacto ambiental que se espera alcançar, como mostra o quadro 2.

Ainda segundo o mesmo relatório, no que tange a geração de empregos formais, estima-se o potencial de criação de cerca de 10 a 15 mil posições de trabalho para operação do sistema desde os pontos de descarte/recebimento, passando pelos centros de triagem e chegando até às recicladoras que irão processar o volume de REEEE. Tal estimativa considera o momento em que o sistema estará em plena operação, cobrindo 100% do território nacional.

Quadro 2 – Benefícios da Logística Reversa

Sociais	Econômicos	Ambientais
» Geração de empregos formais » Fortalecimento das associações de catadores com geração de oportunidades de prestação de serviços ao sistema » Promoção de uma maior conscientização da população quanto às questões ambientais relacionadas aos equipamentos eletroeletrônicos » Minimização de problemas de saúde causados pelo manuseio incorreto de REEE	» Maior retorno ao mercado de matérias-primas advindas da reciclagem de REEE » Fortalecimento da indústria da reciclagem pelo consequente aumento da demanda » Desenvolvimento de conhecimento e tecnologias relacionada a reciclagem de REEE	» Diminuição de casos de descarte incorreto de REEE » Melhoria da qualidade dos serviços de reciclagem e consequente menor nível de rejeitos nos aterros » Redução de gasto energético por conta de uso de reciclados (p.e.: o gasto de energia para reciclagem de alumínio é 95% menor do que para sua produção primária)

Fonte: Relatório de Análise de Viabilidade Técnica e Econômica, ABDI, 2013

2.4 POLÍTICAS ESTADUAIS E DE EMPRESAS

Na Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo (ESTADO DE SÃO PAULO, 2009) foi definido o conceito de “Responsabilidade Pós-Consumo” (RPC), que estabelece que: “Os fabricantes, distribuidores ou importadores de produtos que, por suas características, venham a gerar resíduos sólidos de significativo impacto ambiental, mesmo após o consumo desses produtos, ficam responsáveis (...) pelo atendimento das exigências estabelecidas pelos órgãos ambientais e de saúde, especialmente para fins de eliminação, recolhimento, tratamento e disposição final desses resíduos, bem como para a mitigação dos efeitos nocivos que causem ao meio ambiente ou à saúde pública”.

De acordo com Ushizima (2014), após discussões entre a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA) e os atores envolvidos, a Resolução SMA Nº 38/2011 foi promulgada, estabelecendo a relação dos produtos que resultariam em resíduos de significativo impacto ambiental, que incluem os produtos eletroeletrônicos. Após receber propostas das empresas e analisá-las, a SMA e a CETESB passaram a estabelecer Termos de Compromisso junto aos setores. Os Termos de Compromisso são uma alternativa no caso de inexistência de Acordo Setorial para o produto ou para estabelecimento de compromissos mais rígidos, devendo ser homologados pelo órgão ambiental competente (ESTADO DE SÃO PAULO, 2014). Ainda segundo USHIZIMA (2014), um dos programas que resultaram dos Termos de

Compromisso foi o de aparelhos de telefonia móvel celular e de rádio de comunicação, assinado em junho de 2012. Cinco empresas de telefonia, sob a responsabilidade do Sindicato Nacional das empresas de telefonia e de Serviço Móvel Celular e Pessoal (SINDITELEBRASIL), tiveram como meta disponibilizar postos de coleta em todas as lojas próprias e revendas autorizadas até o final do primeiro ano. O programa prevê que os usuários devem entregar aparelhos, baterias e acessórios em um dos pontos de coleta, que deverão armazenar temporariamente os produtos. Depois, eles devem ser recolhidos pelo operador logístico, que pode enviá-los a um Centro de Armazenamento (para posterior envio para reciclagem) ou diretamente a um reciclador. Até julho de 2013, a meta foi atendida e mais de um milhão de aparelhos foram recebidos (CETESB, 2013).

O Governo do Rio de Janeiro também criou uma série de programas coordenados pela Secretaria de Estado do Ambiente (SEA) e pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Entre eles, existem os Projetos Pilotos de Logística Reversa, que também antecipavam Acordos Setoriais em desenvolvimento no âmbito federal. Entre os Projetos Pilotos, foi criado o Projeto Fábrica Verde, que tem por objetivo transformar os resíduos eletrônicos em inclusão digital, por meio do reaproveitamento de computadores, monitores e impressoras usados, tendo como mão-de-obra os moradores de comunidades pacificadas do Estado do Rio (USHIZIMA, 2014). O projeto estimula também a logística reversa, por meio do qual os fabricantes se comprometem com o destino final do produto, e empresas que doam microcomputadores recebem em troca o selo verde do projeto (ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2013). Até agosto de 2013, duas Fábricas Verdes foram implantadas e receberam dezenas de toneladas de resíduos ou produtos eletroeletrônicos em desuso eletrônico, servindo de insumos para o projeto, capacitando cerca de 360 jovens (USHIZIMA, 2014).

Outro exemplo de iniciativa dos governos estaduais é o de Minas Gerais: o Projeto 3RsPCs – Resíduos Eletroeletrônicos por meio da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), com o apoio do Centro Mineiro de Referência em Resíduos (CMRR) e do Serviço Voluntário de Assistência Social (SERVAS), que tem por objetivo buscar soluções ambientalmente adequadas para os REEE no estado (ESTADO DE MINAS GERAIS, 2009). Entre as ações do Projeto está o Curso de Montagem, Manutenção e Recondicionamento de Computadores. Até julho de 2012, 278 alunos foram capacitados pelo Programa (USHIZIMA, 2014).

Segundo XAVIER (2010), algumas empresas de computadores no Brasil estão tendo a iniciativa de gestão ambiental para destinar adequadamente seus produtos obsoletos, seja por meio de políticas de reciclagem, em que após a separação desses equipamentos, estes podem ser colocados no processo de produção novamente, na recuperação desses equipamentos para posterior doação ou por tecnologias apropriadas para fabricação de equipamentos que degradam menos o meio ambiente, com extinção ou diminuição de alguns materiais nos processos de produção e embalagem. Como exemplo pode-se citar a empresa Dell, que realiza campanhas para arrecadação de computadores usados. A empresa oferece duas opções de destinação final: doação e reciclagem (XAVIER, 2010).

2.5 SITUAÇÃO DA LOGÍSTICA REVERSA EM ÂMBITO FEDERAL E ESTADUAL

Em âmbito nacional, ao fim do ano de 2018, a proposta do setor de resíduos eletroeletrônicos ainda se encontra em negociação. A discussão das propostas junto aos atores envolvidos nos sistemas tem evidenciado uma série de desafios no gerenciamento dos resíduos, tais como questões relativas ao transporte dos resíduos e ao controle sobre importação de produtos que geram resíduos sujeitos à logística reversa (FEAM). No quadro 3 é sintetizada a situação de implantação do sistema de logística reversa de REEE na esfera federal, através dos acordos setoriais.

Quadro 3 - Situação da implantação do sistema de logística reversa de REEE no Brasil através de acordos setoriais

SITUAÇÃO			
EDITAL DE CHAMAMENTO	APRESENTAÇÃO DAS PROPOSTAS	ANÁLISE DAS PROPOSTAS	ASSINATURA/ PUBLICAÇÃO DO ACORDO
Publicado em 13/02/2013 (Edital nº 01/2013)	Dez propostas apresentadas até junho de 2013, sendo quatro propostas válidas. Proposta unificada recebida em janeiro de 2014.	Proposta unificada analisada e em negociação. Próxima etapa: Consulta Pública.	Sem previsão.

Fonte: FEAM, 2018.

Já no estado de Minas Gerais, além da Política Estadual, um instrumento normativo de grande importância foi a Deliberação Normativa COPAM nº 188, de 2013, que estabeleceu diretrizes para implementação da logística reversa no Estado de Minas Gerais, instituindo o termo de

compromisso como instrumento de pactuação dos sistemas de logística reversa no estado e o cronograma para publicação dos editais de chamamento público dos setores produtivos, bem como o conteúdo mínimo para a apresentação das propostas apresentadas. Em 2015, foi publicada a Deliberação Normativa COPAM nº 207/2015, alterando o prazo para publicação do edital de chamamento de eletroeletrônicos.

No quadro 4 é sintetizada a situação de implantação dos sistemas de logística reversa dos REEE em Minas Gerais, ao fim do ano de 2018, através dos termos de compromisso.

Quadro 4 - Situação da implantação do sistema de logística reversa de REEE em Minas Gerais através de acordos setoriais

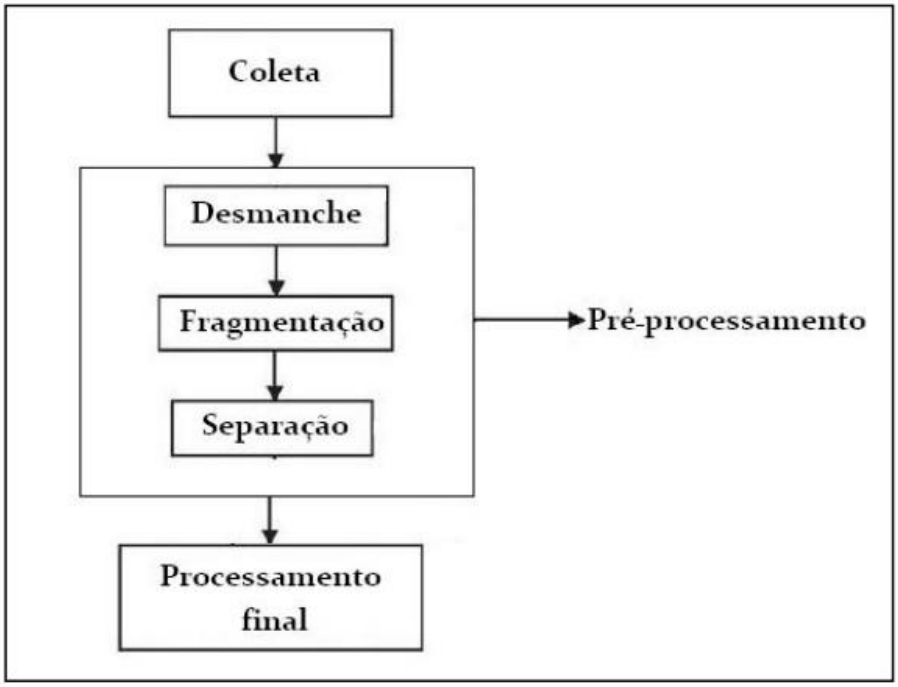
SITUAÇÃO			
EDITAL DE CHAMAMENTO	APRESENTAÇÃO DAS PROPOSTAS	ANÁLISE DAS PROPOSTAS	ASSINATURA/PUBLICAÇÃO DO TERMO
Edital nº 03/2017	Duas propostas recebidas.	Início em dezembro de 2017.	Previsão: 2019

Fonte: FEAM, 2018

2.6 FORMAS DE TRATAMENTO DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

O lixo eletrônico é constituído de compostos que apresentam um determinado valor agregado. Ao falar sobre resíduos de origem eletrônica, está se tratando de uma integração complexa de numerosas tecnologias. Portanto, trata-se de uma abordagem de um número muito elevado de materiais com distintos componentes. Sendo assim, segundo Santos (2010), o tratamento desse tipo de resíduo necessita de diversas etapas, as quais precisam ser bem delineadas para que esse tratamento seja bem-sucedido. De maneira geral, o tratamento adequado de sucatas eletrônicas pode ser resumido em três etapas fundamentais: coleta, pré-processamento (desmanche, fragmentação e separação) e processamento final (Figura 2).

Figura 2 – Diagrama resumido das etapas de tratamento dos REEE



Fonte: SANTOS, 2010

Após a coleta do e-lixo, o processo de reciclagem de equipamentos eletrônicos se inicia por meio de uma triagem, que pode ser feita manualmente ou por um computador - há a separação dos equipamentos em condições de uso (que podem ser doados) dos que não podem ser reutilizados. Logo, os aparelhos são desmontados, e a carcaça, a bateria, o vidro e as placas de circuito são separados, sendo dado um destino diferente para cada componente. A carcaça é triturada e separada por material de acordo com a sua densidade. Depois disso, os resíduos podem, então, ser vendidos para outras empresas que utilizam os polímeros presentes nesses objetos, bem como incinerados para gerar energia (esse método, no entanto, ainda suscita discussões devido às substâncias, como a dioxina, que podem ser liberadas a partir dessa queima), ou podem ser derretidos e transformados em outro plástico (ECYCLE, 2018).

Os materiais tóxicos são colocados em tanques preparados para armazenar esse tipo de resíduo e destinados às empresas especializadas. O vidro da tela de celular e monitores possui diferentes componentes, como chumbo e arsênio. Logo, são separados por tipo de vidro ou são misturados e passam por um processo de moagem e tratamento, podendo ser vendidos para empresas que o utilizam como matéria-prima. As baterias são separadas e destinadas à empresas específicas que farão o descarte correto ou a reciclagem. No Brasil ainda não existe processo de reciclagem para a placa de circuito impresso (PCI). Ela é encaminhada para países que possuem tecnologia

suficiente para realizar esse tipo de reciclagem, como EUA, Suíça e Alemanha (ECYCLE, 2018).

Além disso, é necessário que os REEE passem por uma descaracterização pois, por meio desta, é possível evitar que dados gravados em HDs, CDs, pen drives e celulares, por exemplo, sejam acessados por qualquer pessoa, garantindo assim a segurança de quem descartou o resíduo.

O destino final de grande parte dos REEE no Brasil ainda é o aterro industrial, que recebe resíduos classificados como classe I.

Segundo a Norma da ABNT, NBR 10004/2004, os resíduos são classificados como: classe I, classe II A e classe II B.

> Os resíduos da classe I são chamados de perigosos, os quais englobam materiais com características de periculosidades, ou seja, trazem riscos à saúde pública ou ao meio ambiente, tais como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
>
> Os resíduos da classe II A são chamados de não perigosos e não inertes, os quais englobam materiais com propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
>
> Os resíduos da classe II B são chamados de não perigosos e inertes, os quais possuem a característica de não reagir na presença de água.

Essa classificação é importante para que o resíduo seja transportado, disposto e tratado de forma apropriada a suas características.

O aterro industrial é utilizado como destinação final de resíduos produzidos pelas indústrias, o qual utiliza de rigorosas técnicas nacionais e internacionais para que a disposição seja realizada de forma controlada e correta, sem acarretar danos à saúde pública e minimizar os danos ambientais. Um cuidado especial que se deve tomar na operação é o controle dos resíduos a serem dispostos, pois só podem ser dispostos resíduos quimicamente compatíveis, ou seja, aqueles que não reagem entre si, nem com as águas de chuva infiltradas, sendo necessário um tratamento prévio para alguns tipos de resíduos (PINTO, 2011).

2.7 IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE E À SAÚDE HUMANA

O meio ambiente sofre inúmeros impactos ambientais, dentre os quais cabe citar aqueles causados pelo descarte incorreto de resíduos eletroeletrônicos. Esse tipo de lixo é composto por equipamentos formados por circuitos eletrônicos, como os eletrodomésticos, equipamentos e componentes eletrônicos obsoletos. Esses resíduos são classificados em quatro grupos: Linha Branca - grandes eletrodomésticos; Linha Azul - pequenos eletrodomésticos; Linha Verde - produtos de telecomunicações e informática; Linha Marrom - produtos de áudio, televisores e câmeras.

De acordo com De Oliveira Lima (2015), o descarte inadequado gera problemas ambientais sérios, não só pela quantidade excedente desses resíduos nos lixões e aterros sanitários, como também pelo fato de esses produtos conterem em sua composição materiais como vidro, plástico e metal que permanecem por muito tempo na natureza, e, sobretudo, pela presença de metais tóxicos como níquel, cobre, cádmio, chumbo e mercúrio que contaminam o meio ambiente e quando em elevadas concentrações podem prejudicar os seres vivos, através da bioacumulação nos organismos.

Os quadros 5 e 6 ilustram, respectivamente, os inúmeros danos que podem ser causados à saúde humana e ao meio ambiente:

Quadro 5 – Principais elementos constituintes dos REEE e seus respectivos danos à saúde humana

ELEMENTO	PRINCIPAIS DANOS CAUSADOS À SAÚDE HUMANA
Alumínio	Alguns autores sugerem existir relação da contaminação crônica do alumínio como um dos fatores ambientais da ocorrência de mal de Alzheimer.
Bário	Provoca efeitos no coração, constrição dos vasos sanguíneos, elevação da pressão arterial e efeitos no sistema nervoso central.
Cádmio	Acumula-se nos rins, fígado, pulmões, pâncreas, testículos e coração; possui meia-vida de 30 anos nos rins; em intoxicação crônica pode gerar descalcificação óssea, lesão renal, enfisema pulmonar, além de efeitos teratogênicos (deformação fetal) e carcinogênicos (câncer).
Chumbo	É o mais tóxico dos elementos; acumula-se nos ossos, cabelos, unhas, cérebro, fígado e rins; em baixas concentrações causa dores de cabeça e anemia. Exerce ação tóxica na biossíntese do sangue, no sistema nervoso, no sistema renal e no fígado; constitui-se veneno cumulativo de intoxicações crônicas que provocam alterações gastrointestinais, neuromusculares e hematológicas, podendo levar à morte.
Cobre	Intoxicações como lesões no fígado.
Cromo	Armazena-se nos pulmões, pele, músculos e tecido adiposo, pode provocar anemia, alterações hepáticas e renais, além de câncer do pulmão.
Mercúrio	Atravessa facilmente as membranas celulares, sendo prontamente absorvido pelos pulmões. Possui propriedades de precipitação de proteínas (modifica as configurações das proteínas), sendo suficientemente grave para causar um colapso circulatório no paciente, levando à morte. É altamente tóxico ao homem, sendo que doses de 3g a 30g são fatais, apresentando efeito cumulativo e provocando lesões cerebrais, além de efeitos de envenenamento no sistema nervoso central e teratogênicos.
Níquel	Carcinogênico (atua diretamente na mutação genética).
Prata	10 gramas na forma de Nitrato de Prata são letais ao homem.

Fonte: ABDI, 2013

Quadro 6 – Metais pesados, seus respectivos danos ao meio ambiente e aplicações nos equipamentos eletroeletrônicos

METAIS	DANOS POTENCIAIS AO MEIO AMBIENTE	APLICAÇÕES NOS EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS
Retardadores de chama bromados	Podem ser solúveis em água, voláteis, bioacumulativos e persistentes. Em incineradores geram dioxinas e furanos.	Computadores e televisores.
Cádmio	Bioacumulativos, persistente e tóxico para o meio ambiente.	Resistores, detectores de infravermelho e semicondutores e nas versões mais antigas de raios catódicos.
Cromo	Absorção celular muito fácil pelas plantas e animais dos efeitos tóxicos.	-
Chumbo	Acumulação no ecossistema, efeitos tóxicos na flora e fauna e microrganismos.	Soldas nos circuitos impressos e outros componentes e tubos de raios catódicos nos monitores e televisores.
Mercúrio	Pode tornar-se solúvel em água; acumula-se nos organismos vivos.	Termostatos, sensores de posição, chaves, relés e lâmpadas descartáveis, equipamentos médicos, transmissão de dados, telecomunicações e telefones celulares, baterias, interruptores de residências e placas de circuito impresso.

Fonte: NATUME, 2011

2.8 O MERCADO DE RECICLAGEM DO LIXO ELETRÔNICO

O mercado de reciclagem de lixo eletrônico está em expansão e vem apresentando enorme valorização. Tanto pelo lado financeiro quanto pela perspectiva ecológica, o momento é ideal para investir nesse mercado e ganhar dinheiro com a reciclagem de lixo eletrônico.

As empresas desse segmento têm o objetivo de dar um destino correto a esse lixo e auxiliar na sua reutilização, já que ele se transformará novamente em matéria prima para outros produtos.

Essa é uma nova realidade mundial que deverá ser seguida e respeitada. Atualmente, uma empresa que não tem preocupação com a preservação do meio ambiente não terá sucesso e nem sobrevivência no mercado.

De acordo com cálculos da ONU, desde a coleta até a reciclagem, o mercado global de resíduos eletrônicos movimenta em torno de US$ 400 bilhões por ano.

Nos países em desenvolvimento, a coleta e a reciclagem de resíduos sólidos emprega mais de 64 milhões de pessoas, aponta o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) no estudo Waste Crime – Waste Risks.

Entre as economias emergentes, o Brasil é um dos líderes em descarte de computadores, celulares, TVs e impressoras e, por isso, esse mercado tem apresentado boas opções para novos investidores que pretendem ganhar dinheiro com reciclagem de lixo eletrônico.

De acordo com reportagem publicada na Revista Isto É em junho de 2015, com o título “O negócio bilionário do lixo eletrônico", o governo estimou que a reciclagem do lixo eletrônico tem potencial para gerar dez mil empregos e injetar R$ 700 milhões na economia brasileira.

Exemplos de sucesso ligados à reciclagem de lixo eletrônico podem ser encontrado em várias partes do mundo. Um bom exemplo é a China, onde a reciclagem de sucata de informática virou meio de subsistência.

Localizada no litoral da China, a pequena cidade de Guiyu, decidiu abandonar o cultivo de arroz, para se dedicar exclusivamente à reciclagem do lixo eletrônico. A atividade se mostrou mais lucrativa do que o antigo meio de subsistência da região.

A situação do vilarejo se repete em muitas outras províncias do país, que é o destino de mais de 70% dos resíduos eletrônicos do planeta. De acordo com a reportagem “O e-lixo vale ouro”,

publicada na revista Isto É Dinheiro em 2008, parte dos 150 mil moradores de Guiyu vive em função das sucatas eletrônicas.

Cada zona da cidade se especializou num tipo de sucata. Um bairro é destinado ao aproveitamento da tinta de cartuchos de impressão, em outros manuseiam-se carcaças de PCs. Processadores e chips são comercializados no centro e placas dos computadores na periferia. Com a venda do cobre, plástico, ouro e aço encontrados, chegam a ganhar de US$ 2 a US$ 3 por hora.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho se divide em três etapas. Primeiramente, realizou-se um questionário online para obter respostas acerca do conhecimento da gestão dos resíduos eletroeletrônicos, por parte dos alunos da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora. A visita técnica à empresa E-Ambiental, localizada em Juiz de Fora, constituiu a segunda etapa do trabalho e, a partir desta visita, foi possível obter informações e dados acerca do trabalho realizado por eles com os REEE (coleta, separação e destinação). Já a terceira etapa contou com a ilustração de diferentes possíveis cenários de reciclagem dos REEE, em Juiz de Fora, a partir de dados da literatura, e mostrou os impactos na vida útil do aterro sanitário da cidade.

3.1 QUESTIONÁRIO

Para se fazer um levantamento de como os resíduos eletroeletrônicos vêm sendo tratados no cotidiano, foi aplicado um formulário aos alunos de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora. Este formulário foi criado por meio do Google Forms, uma ferramenta gratuita para criar formulários online, no dia 10 de setembro de 2018 e ficou aberto para respostas até dia 24 de setembro do mesmo ano. Os alunos receberam um e-mail da coordenação de seus respectivos cursos contendo uma pequena explicação sobre a pesquisa e um link para acesso direto ao questionário. Além disso, esse link também foi divulgado em grupos de alunos de um aplicativo de mensagens instantâneas. O formulário continha nove perguntas de múltipla escolha e, durante essas duas semanas, 150 alunos responderam às questões. A partir delas, foi possível avaliar o conhecimento dos alunos de Engenharia sobre o assunto tratado. As perguntas realizadas e as respectivas opções de resposta estão descritas no quadro 7.

Quadro 7 – Perguntas e opções de resposta do formulário

PERGUNTAS FEITAS NO FORMULÁRIO	OPÇÕES DE RESPOSTA
1) Qual o seu curso?	a) Engenharia Ambiental e Sanitária b) Engenharia Civil c)Engenharia Elétrica (todas) d) Engenharia de Produção e)Engenharia Computacional

	f) Engenharia Mecânica g) Outros
2) Você tem o costume de descartar o eletroeletrônico no próprio lixo doméstico?	a) Sim b) Não
3) O lixo comum tem como destino o aterro sanitário, você acha que o lixo eletroeletrônico pode ter a mesma destinação?	a) Sim b) Não c) Não sei
4) Você tem conhecimento de que esse tipo de lixo contém metais pesados que são prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente?	a) Sim b) Não c) Não sei
5) Quantos celulares, computadores, carregadores, pilhas, baterias, cabos, eletrodomésticos, câmeras fotográficas, que não estão sendo usados você tem em casa?	a) 0 b) 1 c) 2 d) 3 e) 4 f) 5 ou mais
6) Existem pontos de coleta de lixo eletroeletrônico próximos a sua casa ou em locais que frequenta?	a) Sim b) Não c) Não sei
7) Na hora de comprar um produto você se preocupa que ele seja multifuncional ou que aparente ter uma vida prolongada?	a) Sim b) Não
8) Você conhece a empresa E-Ambiental que coleta lixo eletroeletrônico nas residências em Juiz de Fora sem nenhum custo?	a) Nunca ouvi falar b) Já ouvi falar c) Já entrei em contato

9) Sabendo da existência da empresa, você teria interesse em contatá-la para dar destino correto aos seus resíduos eletroeletrônicos?	a) Sim b) Não

Fonte: Autoria própria, 2018

3.1.1 A FERRAMENTA GOOGLE FORMS

Os formulários Google permitem que o usuário “recolha e organize gratuitamente informações grandes e pequenas” (GOOGLE, 2017). As respostas de uma pesquisa são armazenadas em planilhas (Google Sheets) e podem ser visualizadas em gráficos ou mesmo de forma bruta na planilha. Existem diferentes estilos de perguntas e métodos de entrada para as respostas, e ainda quebras de seções, possibilidade de envio de arquivos, exibição de imagens ou vídeos e outras características (GOOGLE, 2017). Heidemann et al. (2010, p. 32) afirma que “levantamentos de opiniões podem ser facilmente implementados no Google Forms”. A ferramenta é bem didática, versátil e oferece vários caminhos para a apreciação dos dados.

3.1.2 ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados foi feita através de estatística descritiva, disponibilizada pela própria plataforma de formulários do Google Forms. A estatística descritiva é a etapa da análise utilizada para descrever e resumir os dados. Assim que os questionários são enviados pelos respondentes, os dados são salvos em uma tabela do Excel, que é gerada automaticamente pela plataforma no momento em que o questionário é criado. Nessa tabela estão disponíveis todos os dados relacionados ao preenchimento de cada questionário, a data e a hora em que foi respondido e a resposta de cada questão separadamente, sendo que cada uma destas questões fica em uma coluna distinta, o que permite gerar gráficos e definir a porcentagem relacionada a cada uma das questões. A partir da tabela principal, é possível também gerar outras tabelas com dados isolados para fazer análises diferentes.

3.2 VISITA TÉCNICA

Foi realizada uma visita à empresa E-Ambiental, localizada em Juiz de Fora, no dia 17 de setembro de 2018, onde pôde-se observar o ambiente de trabalho, a organização do local e o modo de funcionamento da mesma. Além disso, uma série de perguntas foram feitas aos responsáveis a fim de obter dados e informações sobre a empresa e sua gestão.

3.2.1 LOCALIZAÇÃO

A empresa E-Ambiental localiza-se na rua Duque de Caxias, número 140, no bairro Poço Rico, na cidade de Juiz de Fora – Minas Gerais, como mostram as figuras 3 e 4.

Figura 3 - Imagem de satélite da empresa E-Ambiental

Fonte: Google Earth, 2018

Figura 4 - Foto da rua onde localiza-se a empresa E-Ambiental

Fonte: Google Street View, 2018

3.2.2 HISTÓRICO DA E-AMBIENTAL E SEU PAPEL NA SOCIEDADE

A E-ambiental é uma empresa especializada na manufatura reversa de resíduos. Sua missão é criar soluções para facilitar o acesso de pessoas físicas e jurídicas a descartarem corretamente seus resíduos e eletrônicos, promovendo a sustentabilidade e evitando a degradação ambiental causada pelo descarte incorreto.

A empresa atua na reciclagem de produtos, oferecendo pontos de descarte de eletrodomésticos, eletroeletrônicos e similares de residências ou empresas, destinando estes produtos sem prejudicar o meio ambiente e do modo correto. Sendo assim, realizam a coleta de aparelhos eletroeletrônicos em geral (modems, TVs, DVDs, sons, celulares, etc.); aparelhos de refrigeração residencial, comercial e industrial; cabos e condutores elétricos; sucata ferrosa ou não ferrosa; computadores e periféricos (notebooks, tablets, monitores, etc.; eletrodomésticos em geral (geladeiras, liquidificadores, processadores, ventiladores, lavadoras).

A E-Ambiental é a única empresa da zona da mata mineira que realiza gestão dos REEE e é licenciada em todos os órgãos: municipal, estadual e federal. As certificações ambientais são uma grande forma de mensurar e demonstrar o quanto a empresa está envolvida com a preservação do meio ambiente.

Além disso, a empresa realiza um trabalho voltado à ressocialização de pessoas, como os detentos do CERESP (Centro de Remanejamento do Sistema Prisional), que realizam a triagem dos itens que chegam à empresa, separando assim os materiais que ainda funcionam para serem destinados às associações sem fins lucrativos, ONGs, determinados órgãos públicos e também para a população carente. Já os que não funcionam, passam por um tipo de desmontagem diferente e são reciclados da maneira correta, sendo posteriormente encaminhados para as empresas como matéria prima.

A coleta de resíduos eletroeletrônicos realizada pela empresa iniciou-se há aproximadamente seis anos, em 2012. Porém, somente em 2016, a empresa iniciou o processo de recolhimento diretamente com a população. Neste caso, a pessoa deve ligar para a empresa, agendar uma coleta e os responsáveis vão até as residências sem nenhum custo para coletar o material. Além disso, quem desejar, também pode entregar seus resíduos diretamente na empresa.

Os serviços prestados abrangem todos os bairros da cidade de Juiz de Fora e os proprietários pretendem expandir os serviços para o Rio de Janeiro - RJ. Há aproximadamente vinte pontos

de coleta espalhados pela cidade de Juiz de Fora, sendo a maioria em faculdades, quartéis e condomínios.

A divulgação do serviço é feita por meio de redes sociais onde, segundo os proprietários, alcança-se o maior público, panfletagem nas ruas e também por meio de matérias feitas para programas de televisão.

Atualmente a empresa conta com 11 funcionários dentro de sua sede e mais 5 detentos do CERESP.

Os proprietários da empresa acreditam que a principal vantagem desse tipo de trabalho é não retirar novos recursos da natureza e dar maior visibilidade ao assunto que é pouco discutido. Além do fato do recolhimento desse material e sua posterior separação proporcionarem oportunidades como a geração de novos empregos e possibilidade de parcerias com projetos sociais, todo o material coletado deixa de ser descartado em aterros sanitários, fazendo com que a vida útil dessas áreas possa ser aumentada.

Na figura 5 tem-se a logomarca da empresa e informações relevantes como telefones, e-mail e redes sociais.

Figura 5 - Logomarca e informações da empresa E-Ambiental

Fonte: Rede social da empresa E-Ambiental, 2018

3.3 CENÁRIOS

Para a construção dos diferentes cenários propostos, foram utilizados dados obtidos na literatura, como mostra o quadro 8.

Quadro 8 – Dados úteis para ilustração dos possíveis cenários de reciclagem

População de Juiz de Fora (IBGE, 2018)	564.310 habitantes
Geração de REEE/habitante (BALDÉ, 2015)	7,1 kg/ano
Quantidade de resíduos recebidos/dia no aterro sanitário de Juiz de Fora (DEMLURB, 2010)	530 toneladas
Volume total do aterro sanitário de Juiz de Fora	3.810.566 m³
Vida útil total do aterro sanitário de Juiz de Fora	17 anos
Peso específico dos resíduos sólidos urbanos (RSU) após compactação no aterro sanitário de Juiz de Fora	0,8 ton/m³
Peso específico dos REEE (BASSANI, 2011)	237,85 kg/m³

Fonte: Autoria própria, 2018

Por meio desses dados, foi possível estimar a quantidade de REEE, em quilogramas, que a população inteira de Juiz de Fora geraria em um ano (População de Juiz de Fora x Geração de REEE/habitante). A partir desse resultado, utilizando-se o valor do peso específico dos REEE, foi possível saber que volume, em m³, esses resíduos ocupariam no aterro sanitário de Juiz de Fora no período de um ano, bastando dividir o valor encontrado anteriormente pelo peso específico dos REEE.

De posse de todos esses dados, basta multiplicar o volume que os REEE ocupariam no aterro em um ano pelo valor da sua vida útil, tendo como resultado o volume total que esses resíduos ocupariam no aterro durante toda a sua vida útil. A partir desse valor, multiplicamos a porcentagem de coleta e reciclagem de cada um dos cenários propostos, obtendo assim o volume total de REEE que deixaria de chegar ao aterro durante todo o seu funcionamento.

Tendo em mãos o volume total do aterro sanitário de Juiz de Fora e sua vida útil, foi possível descobrir, em média, quanto desse volume seria preenchido por ano, dividindo o Volume total do aterro sanitário de Juiz de Fora pela sua vida útil.

Por fim, para descobrir qual seria o aumento da vida útil do aterro em cada um dos cenários propostos, dividiu-se o volume total que os REEE ocupariam durante toda a vida útil do aterro pelo volume médio preenchido por ano, encontrado anteriormente, obtendo assim a resposta em anos e meses.

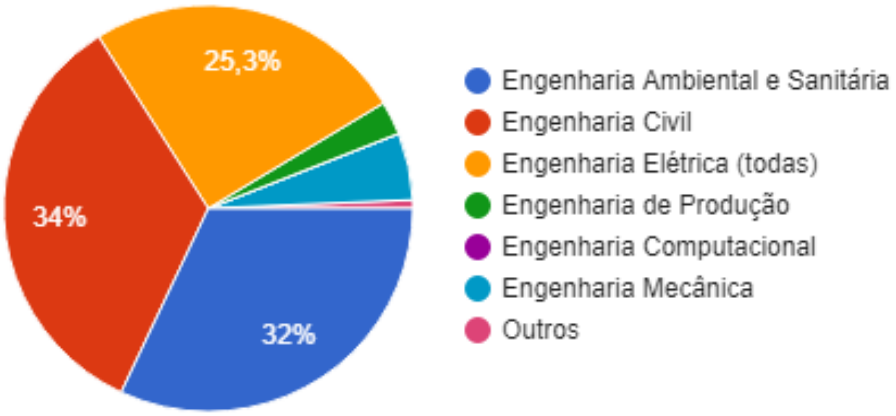
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir das respostas do questionário, suas respectivas discussões e maiores detalhes da visita técnica à empresa E-Ambiental. Além disso, a partir de dados da literatura, serão apresentados diferentes cenários de reciclagem dos REEE para ilustrar e discutir quais seriam alguns dos impactos positivos que poderiam ocorrer caso houvesse uma melhor e mais correta gestão dos resíduos eletroeletrônicos na cidade de Juiz de Fora.

4.1 ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO

A primeira pergunta do questionário foi o curso de cada aluno (Figura 6). A maioria dos alunos que responderam (91,3%) são dos cursos de Engenharia Civil, Ambiental e Sanitária e Elétrica.

Figura 6 - Resposta da pergunta “Qual o seu curso? ”



Quando questionados sobre o descarte dos resíduos eletroeletrônicos, 25,3% dos alunos que responderam ao questionário disseram descartá-los junto ao lixo doméstico (Figura 7). Porém, quando perguntados se esse tipo de lixo poderia ter a mesma destinação que o lixo doméstico, 97,3% marcaram não (Figura 8). Com isso, percebe-se que grande parte dos alunos tem conhecimento de que não se deve misturar os resíduos de classes diferentes, mas, ainda assim, o fazem.

Quando perguntados sobre os metais pesados contidos neste tipo de resíduos, 96% dos alunos que responderam ao questionário afirmaram saber da presença desses elementos e que os mesmos são prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente (Figura 9).

Figura 7 - Resposta da pergunta “Você tem o costume de descartar o eletroeletrônico no próprio lixo doméstico?”

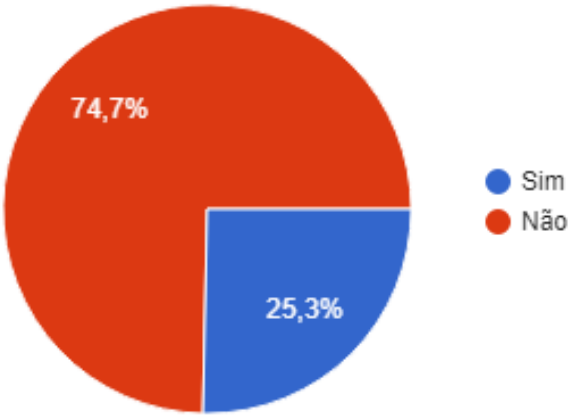


Figura 8 - Resposta da pergunta “O lixo comum tem como destino o aterro sanitário, você acha que o lixo eletroeletrônico pode ter a mesma destinação?”

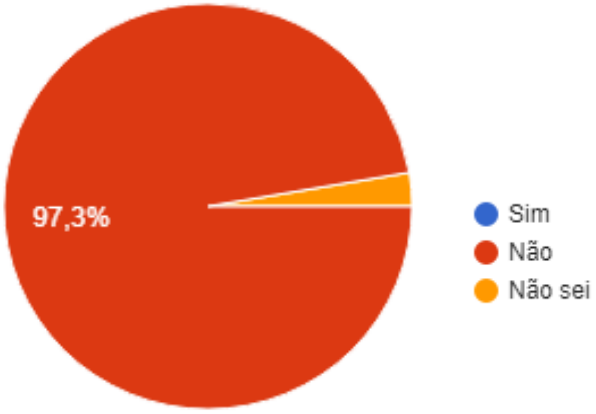
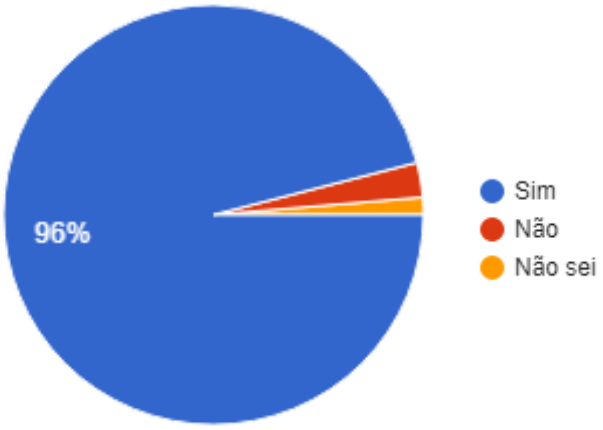


Figura 9 - Resposta da pergunta “Você tem conhecimento de que esse tipo de lixo contém metais pesados que são prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente?”



Através da aplicação do questionário, verificou-se que 57,3% dos entrevistados têm 5 ou mais resíduos eletroeletrônicos em suas casas (Figura 10). Como pode ser visto na figura 11, 71,3% das pessoas disseram não conhecer ou não saber da existência de pontos de coleta próximos de suas residências ou locais que frequentam.

Figura 10 - Resposta da pergunta “Quantos celulares, computadores, carregadores, pilhas, baterias, cabos, eletrodomésticos, câmeras fotográficas, que não estão sendo usados você tem em casa?”

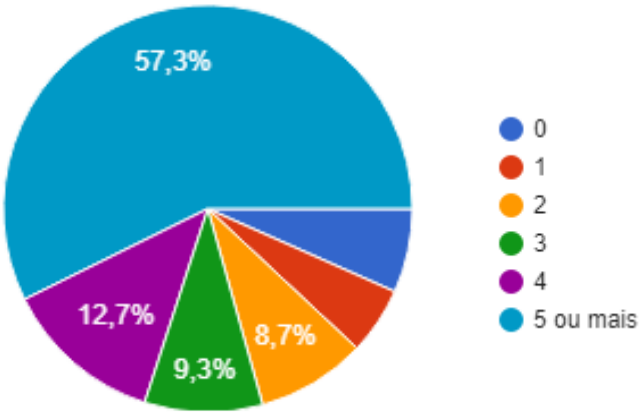
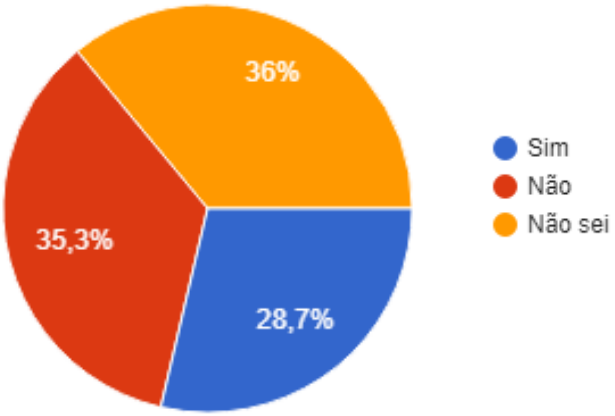
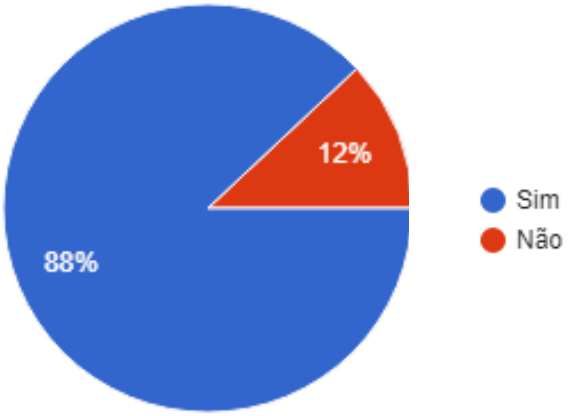


Figura 11 - Resposta da pergunta “Existem pontos de coleta de lixo eletroeletrônico próximos a sua casa ou em locais que frequenta?”



Para tratar do tema consumo consciente, uma das perguntas feitas aos alunos foi em relação a preocupação no momento da compra de um produto. Daqueles que responderam ao questionário, 88% informaram que levam em consideração sua multifuncionalidade e vida prolongada (Figura 12).

Figura 12 - Resposta da pergunta “Na hora de comprar um produto você se preocupa que ele seja multifuncional ou que aparente ter uma vida prolongada?”



Ao fim do questionário os alunos foram perguntados se tinham conhecimento da empresa E-Ambiental e se já haviam entrado em contato com a mesma. Entre as 150 pessoas que participaram da pesquisa, 30% já tinham ouvido falar e 4% já haviam entrado em contato com a empresa para realizar a destinação adequada dos resíduos eletroeletrônicos (Figura 13). Em seguida, foram questionados se, sabendo da existência desta empresa, pretendiam entrar em contato para descartar seus equipamentos e 96% responderam que tem interesse (Figura 14).

Figura 13 - Resposta da pergunta “Você conhece a empresa E-Ambiental que coleta lixo eletroeletrônico nas residências em Juiz de Fora sem nenhum custo?”

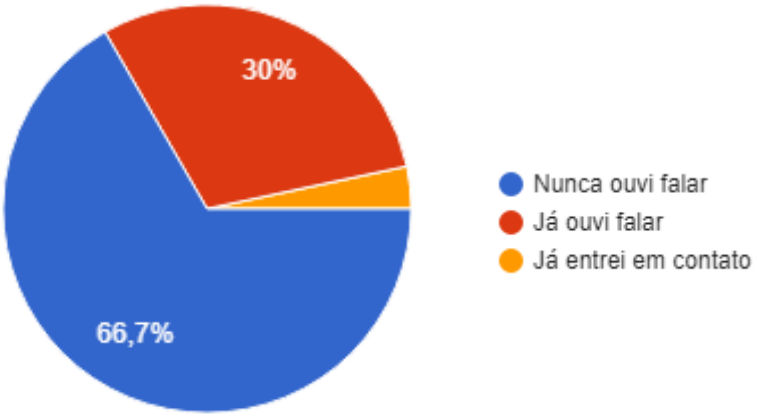
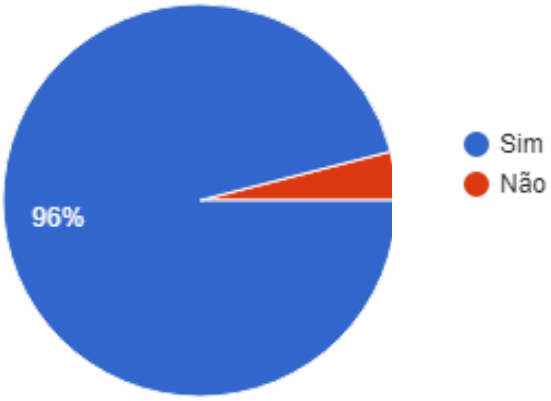


Figura 14 - Resposta da pergunta “Sabendo da existência da empresa, você teria interesse em contatá-la para dar destino correto aos seus resíduos eletroeletrônicos?”



4.2 VISITA TÉCNICA

A coleta dos resíduos eletroeletrônicos em domicílio pela empresa E-Ambiental é realizada por meio de um agendamento prévio. Além disso, quem desejar, pode levar seus resíduos até a empresa ou depositá-los em pontos de coleta que estão espalhados pela cidade de Juiz de Fora, como mostra a figura 15.

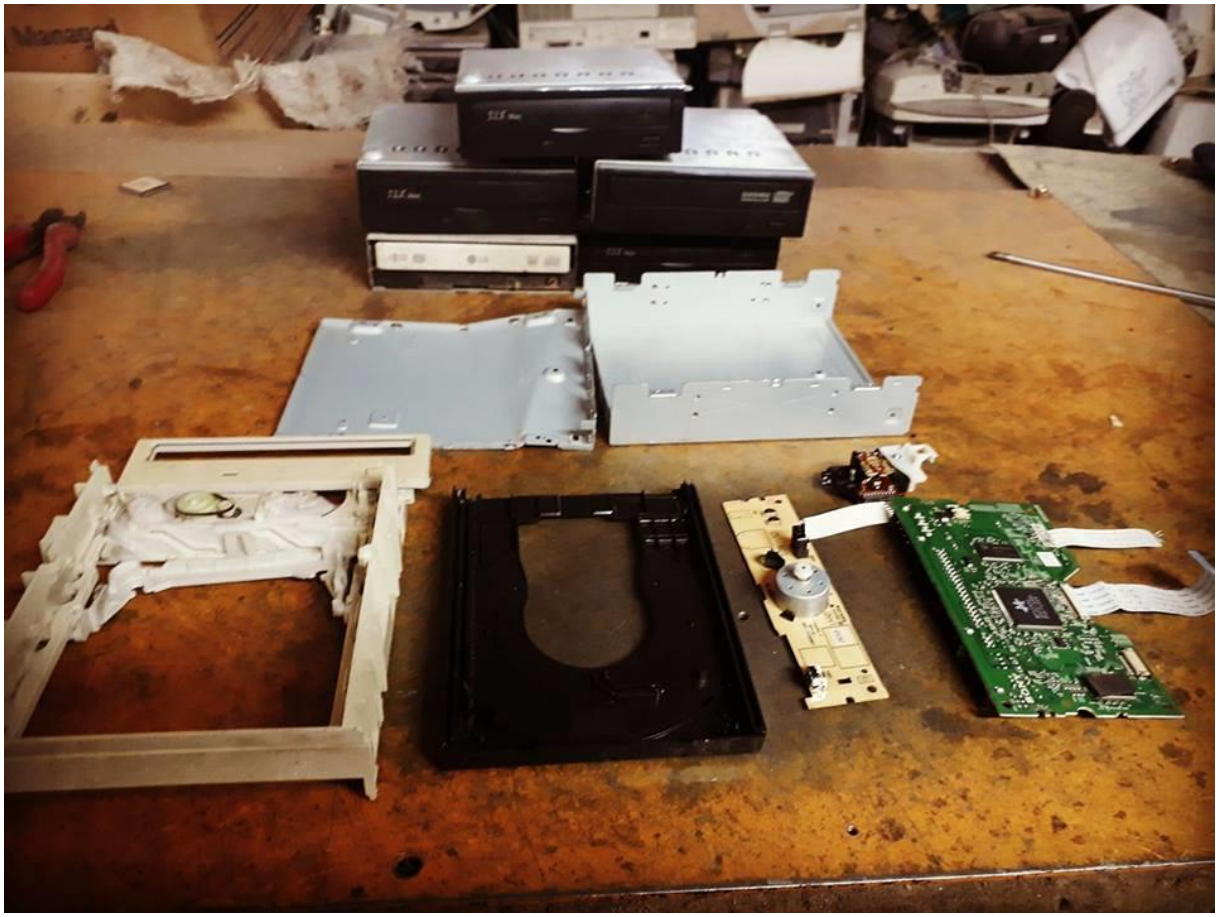
Figura 15 - Ponto de coleta no condomínio Neo Residencial no bairro São Pedro em Juiz de Fora, Minas Gerais

Fonte: Rede social da empresa E-Ambiental, 2018

O transporte desses resíduos é feito por meio de caminhonete, carro ou carreta, a depender da quantidade de material que deverá ser coletada na rota.

Após a chegada do material à empresa, é feita a triagem, onde separam-se os equipamentos que funcionam (os quais são encaminhados para doação) daqueles que não funcionam. Todo o material obsoleto passa por um processo de desmontagem, onde ocorre a separação dos seus componentes (plástico, ferro, placas, etc..) como exemplificado na figura 16. Após esse processo, cada componente é encaminhado para a indústria responsável por sua reciclagem, evitando assim que o lixo eletrônico seja enterrado e contamine o solo. Em relação à separação de metais, na empresa, há a separação de ferro, alumínio, cobre e chumbo; não há separação dos metais contidos nas placas, que são vendidos para uma empresa que realiza esse tipo de separação e, posteriormente, são exportados para Alemanha. Aqueles que realizam o processo de desmontagem utilizam equipamentos de proteção individual e máscaras como um cuidado especial para que não se tenha contato com materiais perigosos.

Figura 16 - Processo de desmontagem dos materiais na E-Ambiental



Fonte: Rede social da empresa E-Ambiental, 2018

Na empresa, o armazenamento desse tipo de resíduo é feito da seguinte maneira: há baias maiores que armazenam o plástico (aproximadamente 65% do lixo eletrônico), estantes e tambores, sendo que alguns destes são colocados em cima de pallets pra não ficar em contato direto com o chão, como exemplificado nas figuras 17 à 23.

Figura 17 – Teclados para computador armazenados no galpão da empresa

Fonte: Acervo próprio, 2018

Figura 18 – Armazenamento de impressoras no galpão da empresa

Fonte: Acervo próprio, 2018

Figura 19 – Armazenamento de monitores de computador no galpão da empresa

Fonte: Acervo próprio, 2018

Figura 20 – Armazenamento de TVs e monitores no galpão da empresa

Fonte: Acervo próprio, 2018

Figura 21 – Micro-ondas e monitores armazenados no galpão da empresa

Fonte: Acervo próprio, 2018

Figura 22 – Armazenamento de componentes eletroeletrônicos em tambores no galpão da empresa

Fonte: Acervo próprio, 2018

Figura 23 – Armazenamento de monitores CRT no galpão da empresa

Fonte: Acervo próprio, 2018

4.2.1 PROJETOS SOCIAIS E AMBIENTAIS

Em relação aos projetos sociais, a E-Ambiental possui parceria com o CERESP (Centro de Remanejamento do Sistema Prisional), onde ocorre a capacitação de presos para desmontagem de peças e componentes provenientes de eletroeletrônicos. Além de atender a um problema latente no mundo todo, que é o reaproveitamento do material eletrônico, esta é uma oportunidade para que os presos aprendam um ofício e possam ter uma profissão para exercer ao saírem da cadeia. Tal atitude é vista como um incentivo para todos eles, faz com que se sintam úteis, e, além disso, pode ajudar a desconstruir a visão que a sociedade tem em relação aos presidiários. A figura 24 mostra o trabalho de um detento no galpão do CERESP.

Figura 24 – Detento trabalhando na desmontagem de eletroeletrônicos no galpão do CERESP

Fonte: Tribuna de Minas, 2018

Além disso, a empresa possui projetos de inclusão digital e social, promove ações sociais em escolas, tem parcerias com outros projetos como o CCPAR (Centro Cultural e Profissionalizante Amadeu Rossignoli), estrutura salas de informática para auxiliar comunidades carentes e também ministra cursos profissionalizantes e de capacitação, como exemplificado na figura 25.

Figura 25 – Curso de capacitação para a Associação de Catadores de Juiz de Fora

Fonte: Rede social da empresa E-Ambiental, 2018

4.2.2 DADOS SOBRE O MATERIAL RECEBIDO PELA EMPRESA

De acordo com os proprietários, são recolhidas por semana aproximadamente 4 toneladas de material, ou seja, 16 toneladas por mês (aproximadamente 200 toneladas por ano). O volume máximo que a empresa conseguiria receber mensalmente seria de 60 toneladas (de 10 a 12 toneladas por semana). O reaproveitamento dos materiais presentes nos aparelhos recebidos pela empresa é de aproximadamente 4% e estes apresentam, em média, 65% de plástico em sua composição.

Além disso, a empresa também divulgou, em setembro de 2018, por quais valores vende o quilograma de cada material que pode vir a ser reciclado. No quadro 9 constam os materiais e seus respectivos valores.

Quadro 9 – Valor de venda do quilograma de cada material a ser reciclado

MATERIAL	VALOR/KG
Ferro	R$ 0,40
Cobre	R$ 15,00
Placa	R$ 1,00
Plástico	R$ 0,70
Alumínio	R$ 4,00
Chumbo	R$ 5,00

Fonte: Empresa E-Ambiental, 2018

4.3 CENÁRIOS E IMPACTOS

Para a construção dos cenários levou-se em consideração a atual população de Juiz de Fora, a geração de REEE por habitante em um ano no Brasil e dados referentes ao aterro sanitário de Juiz de Fora.

4.3.1 CARACTERIZAÇÃO DA CENTRAL DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE JUIZ DE FORA

A Central de Tratamento de Resíduos Juiz de Fora (CTR-JF) consiste em um aterro sanitário construído e operado pela empresa Vital Engenharia Ambiental S.A. desde o ano de 2010, no município de Juiz de Fora, estado de Minas Gerais. O empreendimento está implantado na Fazenda Barbeiro, bairro Paula Lima, zona rural do município de Juiz de Fora /MG.

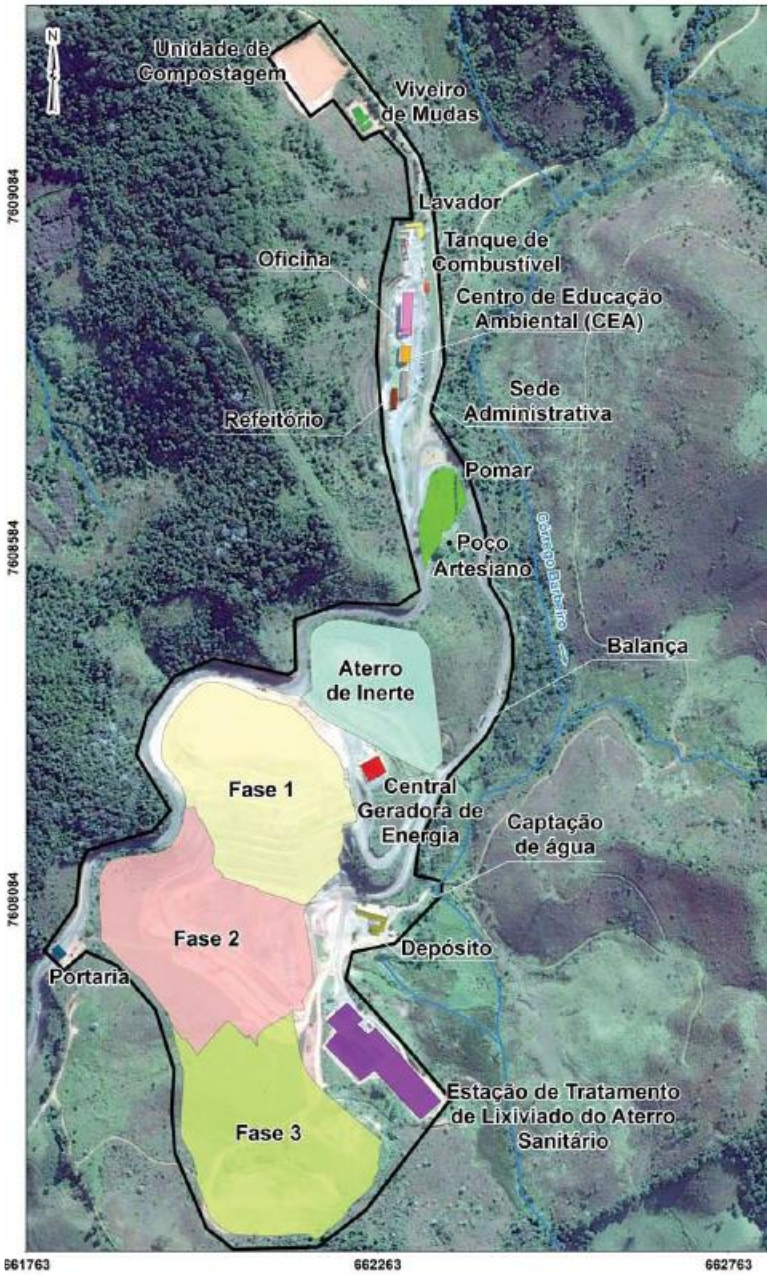
A CTR Juiz de Fora se encontra nas coordenadas 21°36'59,30" de latitude Sul e 43°25'54,86" de longitude Oeste (SIRGAS 2000). A Fazenda Barbeiro tem uma área total de 350,9 ha, sendo que 41,73 ha corresponde a área total das estruturas, como mostra a figura 26. A área para destinação final dos resíduos sólidos urbanos de Juiz de Fora tem perspectiva de receber aproximadamente 530 toneladas de resíduos por dia (DEMLURB, 2010).

Figura 26 – Limites da Fazenda Barbeiro e área destinada às diversas estruturas da CTR-JF

Fonte: Licença de Operação do CTR-JF, 2016

Dentre as estruturas que compõem a CTR-JF tem-se: plataformas para disposição de resíduos (fases 1, 2 e 3); aterro de resíduos inertes; unidade de compostagem; sede administrativa; refeitório; oficina; lavador; tanque de combustível; depósito de materiais; balança; guarita; pórtico de entrada; estação de tratamento de efluentes; centro de educação ambiental – CEE e viveiro de mudas, além de uma Unidade de Geração de Energia Termoelétrica a Biogás, devidamente licenciada, assim como mostra a figura 27.

Figura 27 – Visão geral das estruturas que compõem a CTR-JF



Fonte: Licença de Operação do CTR-JF, 2016

A vida útil de um aterro sanitário está relacionada ao processo de operação, à sua capacidade volumétrica e à demanda de resíduos a serem aterrados. Ressalta-se que este último parâmetro está sujeito à variação ao longo do tempo, assim, a vida útil de um aterro sanitário pode variar caso haja divergências entre a real demanda de resíduos a serem aterrados e a demanda adotada em projeto.

Entre os parâmetros associados à operação de um aterro sanitário que influenciam na sua vida útil, pode-se mencionar: o grau de compactação dos resíduos sólidos obtido no aterramento

diário, dado em função dos equipamentos utilizados e das condições pluviométricas, a altura da camada de cobertura diária e o material utilizado em sua composição.

O cálculo da demanda volumétrica da CTR Juiz de Fora, quando da obtenção da Licença de Operação, foi estimado em função da geração de resíduos sólidos calculada pelo Departamento Municipal de Limpeza Urbana – DEMLURB em Edital Público para a concessão dos serviços de tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos de Juiz de Fora.

Foram considerados os pesos específicos, após compactação, de 0,8 ton/m³ para os resíduos sólidos urbanos e de serviços de saúde e 1,5 ton/m³ para os resíduos inertes, estimando-se demandas volumétricas de 3.800.000 m³ para o Aterro Sanitário - Casse IIA e 182.000 m³ para o Aterro de Inertes – Classe IIB.

Assim, com base no arranjo geométrico proposto e suas respectivas seções, foi calculada uma capacidade volumétrica de aproximadamente 3.900.000 m³ para o Aterro Sanitário da CTR, o que corresponderia a uma vida útil de 20 anos, distribuídos da seguinte forma:

- **Fase 1:** capacidade volumétrica de 1.097.877 m³ e vida útil de 6 anos;
- **Fase 2:** capacidade volumétrica de 1.498.126 m³ e vida útil de 8 anos;
- **Fase 3:** capacidade volumétrica de 1.204.505 m³ e vida útil de 6 anos;
- **Volume total:**---------- **3.800.508 m³**
- **Vida útil total:**----------**20 anos**.

Todavia, ao longo da operação da CTR-JF, o empreendedor passou a receber resíduos sólidos urbanos gerados por outros municípios da região, além de resíduos sólidos de origem industrial Classe II – não perigosos, os quais eram dispostos com os demais resíduos no aterro sanitário da CTR-JF.

O aumento na demanda volumétrica de resíduos dispostos no aterro sanitário resultou em uma redução da vida útil prevista inicialmente. Visando compensar essa perda de vida útil, o empreendedor promoveu, ao longo da operação do aterro de resíduos, alterações no projeto geométrico originalmente licenciado.

A vida útil prevista no projeto atual é de 17 anos, distribuídos da seguinte forma:

- **Fase 1:** capacidade volumétrica de 1.092.698 m³ e vida útil de 5 anos;
- **Fase 2:** capacidade volumétrica de 1.356.575 m³ e vida útil de 6 anos;
- **Fase 3:** capacidade volumétrica de 1.361.293 m³ e vida útil de 6 anos;
- **Volume total: ---------- 3.810.566 m³**;
- **Vida útil total: ----------17 anos**.

4.3.2 CENÁRIO 1 – 100% DE COLETA E RECICLAGEM

Considerando a população de Juiz de Fora e a geração anual de lixo eletrônico por habitante, pode-se estimar que a cidade gera, anualmente, 4.006.601 quilogramas, ou seja, aproximadamente 4.000 toneladas de lixo eletrônico. Considerando o peso específico dos REEE como 237,85 kg/m³ (BASSANI, 2011), e supondo que todo esse resíduo fosse coletado e reciclado, deixaria de chegar ao aterro, anualmente, um volume de 16.845,07 m³.

Sabendo-se que o volume total do aterro sanitário de Juiz de Fora é de 3.810.566 m³ e que este espaço levará 17 anos para ser preenchido, pode-se considerar que, por ano, serão preenchidos 224.150,94 m³. Sendo assim, se 16.845,07 m³ de lixo eletrônico deixassem de chegar ao aterro sanitário anualmente, ao fim de 17 anos, seria economizado um volume total de 286.366,19 m³, ou seja, a vida útil seria aumentada em aproximadamente 1 ano e 4 meses.

4.3.3 CENÁRIO 2 – 50% DE COLETA E RECICLAGEM

Se 50% do lixo eletrônico fosse coletado e reciclado, deixaria de chegar ao aterro, anualmente, um volume de 8.422,54 m³. Caso esse volume deixasse de chegar ao aterro, ao fim dos 17 anos, seria economizado um volume total de 143.183,18 m³, ou seja, a vida útil seria aumentada em aproximadamente 8 meses.

4.3.4 CENÁRIO 3 – 25% DE COLETA E RECICLAGEM

Se 25% do lixo eletrônico fosse coletado e reciclado, deixaria de chegar ao aterro, anualmente, um volume de 4.211,27 m³. Caso esse volume deixasse de chegar ao aterro, ao fim dos 17 anos, seria economizado um volume total de 71.591,59 m³, ou seja, a vida útil seria aumentada em aproximadamente 4 meses.

4.3.5 CENÁRIO 4 – 5% DE COLETA E RECICLAGEM (ATUAL CENÁRIO DE JUIZ DE FORA)

Segundo a empresa E-Ambiental, por mês são coletadas, em média, 16 toneladas de REEE (aproximadamente 200 toneladas por ano) em Juiz de Fora. Tendo como base o dado apresentado por Baldé et al (2015), de que cada brasileiro gera aproximadamente 7,1 kg de REEE por ano, pode-se dizer que o potencial de reaproveitamento e reciclagem desses resíduos em Juiz de Fora poderia ser muito maior, já que o montante que a empresa consegue coletar representa aproximadamente 5% de todo REEE gerado.

Considerando que 5% do lixo eletrônico de Juiz de Fora é coletado e reciclado, deixa de chegar ao aterro, anualmente, um volume de 842,25 m³. Com esse volume deixando de chegar ao aterro, será economizado um volume total de 14.318,25 m³, ou seja, a vida útil será aumentada em aproximadamente 1 mês.

Sabendo-se que, em média, são coletadas 530 toneladas de resíduos por dia em Juiz de Fora, têm-se, em um ano, 193.450 toneladas; logo, em 17 anos, serão coletadas 3.228.650 toneladas de resíduos no total. Levando-se em conta o peso específico, após compactação, de 0,8 ton/m³ para os RSU e a quantidade de resíduos total coletada após 17 anos, seria necessário um volume total de 4.110.812,5 m³ para o aterro. De acordo com o parecer técnico da CTR de Juiz de Fora, o volume máximo que pode ser ocupado pelo aterro é 3.810.566 m³, que é um volume menor que o encontrado anteriormente. Essa diferença entre os volumes pode ser explicada pelo fato de que a quantidade média de resíduos coletados por dia envolve todos os tipos de resíduo e o peso específico utilizado para cálculo do volume necessário para aterrar todos esses resíduos estava voltado somente para os RSU. O quadro 10 mostra um resumo de todos os cenários e seus respectivos resultados.

Quadro 10 – Tabela resumo dos cenários ilustrados

Cenário	Quantidade que deixaria de chegar ao aterro anualmente (ton)	Economia de volume no aterro durante sua vida útil (m^3)	Aumento na vida útil do aterro (aproximadamente)
100% de coleta	4.006,6	286.366,19	1 ano e 4 meses
50% de coleta	2.003,3	143.183,18	8 meses
25% de coleta	1.001,6	71.591,59	4 meses
5% de coleta (atual cenário de Juiz de Fora)	200,3	14.318,25	1 mês

Fonte: Autoria própria, 2018

4.3.6 DISCUSSÃO DOS CENÁRIOS

É notável que, em comparação aos RSU, os impactos em relação ao volume e vida útil do aterro são menores visto que se tem uma geração menor por pessoa (REEE: 7,1 kg/ano e RSU: 365 kg/ano segundo Silva, 2013 apud IBGE). Mas, ainda assim, não se pode subestimar esse tipo de resíduo. É importante ressaltar que sua periculosidade é muito maior que a dos RSU devido aos seus componentes, o que pode causar um grande impacto na saúde humana e também ao meio ambiente.

Se os REEE forem dispostos no aterro sanitário juntamente com os RSU, a carga poluidora do chorume resultante da degradação do lixo será efetivamente mais perigosa do que se eles não se misturassem. Isso pode ser explicado pelo fato de que grande parte dos componentes de REEE são altamente tóxicos e, mesmo estando em menor quantidade em relação aos RSU, facilmente misturam-se ao chorume causando uma contaminação ainda maior por onde passar.

Sabendo-se disso, quanto menor for a preocupação com os REEE e com sua correta gestão, maiores serão os impactos ambientais e também os impactos à saúde humana. Esse chorume pode vir a contaminar cursos d’água e, posteriormente, causar inúmeros problemas de saúde às pessoas que forem utilizar essa água de alguma forma. Além disso, o tratamento do chorume resultante da junção dos RSU com os REEE custará muito mais caro do que caso eles não tivessem sido misturados.

A partir dos cenários ilustrados anteriormente, foi possível perceber que, mesmo não sendo números tão expressivos se comparados aos RSU, ainda assim, caso uma maior quantidade de REEE fosse coletada e reciclada, seria possível obter uma maior vida útil do aterro sanitário de Juiz de Fora, o que certamente impactaria na redução de gastos.

5. CONCLUSÕES

O objetivo geral deste trabalho foi analisar a gestão dos resíduos eletroeletrônicos por meio de revisão bibliográfica, além da aplicação de questionários online à estudantes de Engenharia da UFJF, visita técnica à empresa E-Ambiental e apresentação de cenários de reciclagem dos REEE. A partir disso, serão apresentadas algumas conclusões e considerações finais:

- A geração cada vez maior de REEE está relacionada ao encurtamento da vida útil dos aparelhos e também à inovação tecnológica que torna o novo rapidamente ultrapassado. Aliado a isso, tem-se um investimento cada vez mais forte em lançamentos e marketing por parte das empresas, o que traz como resultado uma sociedade extremamente consumista;

- Uma discussão pertinente e que deve se dar a devida atenção é sobre o impacto dos REEE no meio ambiente e na saúde da população. Pela pesquisa feita através de formulário online com estudantes dos cursos de Engenharia da UFJF, 96% dos alunos que responderam ao questionário afirmaram saber da presença desses elementos e que os mesmos são prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente. Mesmo grande parte do alunado tendo consciência da importância do descarte adequado dos REEE (97,3% dos estudantes assinalaram que o lixo eletrônico não pode ter o mesmo destino do lixo comum), 25,3% dos alunos dizem ainda fazer o descarte de maneira conjunta. Logo, é possível concluir que falta educação ambiental; se nem todos os alunos de Engenharia, que são teoricamente mais instruídos, praticam o que é correto, é possível entender as ações equivocadas da população que não possui conhecimento nenhum nessa área;

- As dificuldades encontradas em relação à destinação adequada estão diretamente relacionadas com a falta de conscientização em relação ao consumo e descarte do resíduo eletroeletrônico. A maioria das pessoas ainda não procura dar uma destinação correta aos seus aparelhos mantendo-os em sua casa, mesmo depois de se tornarem obsoletos. Através da aplicação do questionário, verificou-se que 57,3% dos entrevistados têm 5 ou mais resíduos eletroeletrônicos em suas casas;

- No município de Juiz de Fora são coletadas pela empresa E-Ambiental anualmente aproximadamente 200 toneladas de REEE (16 toneladas a cada mês) e esta quantidade deixa de chegar ao aterro sanitário, mostrando claramente o potencial no aumento da

vida útil dessa área. É nítido também o grande potencial de material que pode vir a ser coletado e reciclado em Juiz de Fora. Com as respostas do formulário dos alunos e as informações obtidas na empresa analisada, percebe-se que para atingir a conscientização da população sobre a destinação adequada ainda é necessário, por parte do poder público, investimentos em educação ambiental e também, incentivo às empresas que buscam soluções sustentáveis;

- É importante que os REEE não se misturem com RSU pois o impacto ambiental é muito maior, visto que os componentes de REEE são altamente perigosos e mesmo em pequenos volumes, pode contaminar uma grande área. Além disso, os gastos com o tratamento do chorume proveniente destes dois resíduos, caso estejam misturados, deverá ser ainda maior;

- Caso 100% dos REEE de Juiz de Fora fossem coletados e reciclados, haveria um aumento de, aproximadamente, 1 ano e 4 meses na vida útil do aterro sanitário do município; se essa porcentagem caísse para 50% e 25%, o aterro sanitário teria, aproximadamente, mais 8 meses e 4 meses de vida útil, respectivamente. No atual cenário de Juiz de Fora (5% de coleta e reciclagem), o aumento na vida útil desse aterro seria de, aproximadamente, 1 mês;

- Uma das tendências que a logística reversa pode trazer são os desdobramentos de suas atividades e as novas iniciativas que isto pode estimular. A exemplo disso, já é possível perceber o surgimento de um novo setor da economia, com diversos empregos sendo gerados em empresas de transporte, gestão e reciclagem de resíduos eletroeletrônicos. Outra vertente que tem emergido é a preocupação das empresas em reaproveitar os materiais, partes e peças presentes nos equipamentos que foram descartados pelos consumidores.

O presente trabalho utilizou-se da construção de diferentes cenários de reciclagem de REEE a partir de dados apresentados na literatura. Ainda há muito a ser estudado a fim de uma melhor compreensão sobre o assunto e também para que os valores apresentados sejam representativos. Um ponto que deve ser melhor explorado é a realização de uma avaliação mais detalhada sobre a geração de REEE em Juiz de Fora, visto que neste trabalho foi utilizado o valor encontrado na literatura para o Brasil (média de 7,1 kg/ano/pessoa). Dessa forma, seria interessante se estimar um índice de geração de resíduos específico do município de Juiz de Fora. Além disso,

políticas públicas devem ser criadas como forma de incentivar e enaltecer as empresas e projetos que visam ao mesmo tempo sustentabilidade e oportunidades.

REFERÊNCIAS

ABDI. Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos – Análise de Viabilidade Técnica e Econômica, 2013. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1416934886.pdf> Acesso em: 14 de setembro de 2018.

ALMEIDA, Júlia Righi. Destinação final dos resíduos sólidos no Brasil: Desafios e oportunidades, Tópicos em Sustentabilidade & Conservação 2ª edição, p. 142-166, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 10004: **Resíduos sólidos - classificação**. Rio de Janeiro, 2004, 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 12235: **Armazenamento de resíduos sólidos perigosos**. Rio de Janeiro, 1992, 14 p.

BACHI, Mariana Helena. RESÍDUOS TECNOLÓGICOS: A relação dos Resíduos Eletroeletrônicos e a Legislação no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 01-05, 2013.

Baldé C.P., Wang, F., Kuehr, R., Huisman, J. (2015) *The global e-waste monitor 2014.*, United Nations University, IAS – SCYCLE, Bonn, Germany. Disponível em: <http://i.unu.edu/media/unu.edu/news/52624/UNU-1stGlobal-E-WasteMonitor-2014-small.pdf >. Acesso em 27 de Agosto de 2018.

BASSANI, Patricia Dornelas et al. **Caracterização de resíduos sólidos de coleta seletiva em condomínios residenciais Estudo de Caso em Vitória-ES**. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.

BRASIL. Decreto nº 9177, de 23 de outubro de 2017. Regulamenta o artigo 33 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial, Brasília, DF, 17 out. 2017.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2010.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Logística Reversa de Celulares – Produtos eletroeletrônicos, 2013.

DCI. **Lixo eletrônico é oportunidade.** Disponível em: <https://www.dci.com.br/colunistas/editorial/lixo-eletronico-e-oportunidade-1.683528> Acesso em: 14 de setembro de 2018.

DE OLIVEIRA, Camila Reis; BERNARDES, Andréa Moura; GERBASE, Annelise Engel. Collection and recycling of electronic scrap: A worldwide overview and comparison with the Brazilian situation. **Waste Management**, v. 32, n. 8, p. 1592-1610, 2012.

DE OLIVEIRA LIMA, Anna Flávia et al. Gestão de resíduos eletroeletrônicos e seus impactos na poluição ambiental. **Latin American Journal of Business Management**, v. 6, n. 2, 2015.

DEMAJOROVIC, Jacques; MIGLIANO, João Ernesto Brasil. Política nacional de resíduos sólidos e suas implicações na cadeia da logística reversa de microcomputadores no Brasil. **Gestão & Regionalidade**, v. 29, n. 87, 2013.

DWIVEDY, Maheshwar; MITTAL, R. K. An investigation into e-waste flows in India. **Journal of Cleaner Production**, v. 37, p. 229-242, 2012.

ECYCLE. **Entenda os processos por trás da reciclagem de equipamentos eletrônicos.** Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/44-guia-da-reciclagem/1823-entenda-os-processos-por-tras-da-reciclagem-de-equipamentos-eletronicos.html> Acesso em: 14 de setembro de 2018.

ESTADO DE MINAS GERAIS. Plano de gerenciamento integrado de resíduos de equipamentos elétricos, eletrônicos – PGIREEE. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente & Fundação Israel Pinheiro, 2009.

ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Consultoria e Assessoria Técnica de Engenharia à SEA para Elaboração do Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS): Relatório de Avaliação, Adequação e Proposição de Programas, 2013.

ESTADO DE SÃO PAULO. Decreto Nº 54.645, de 05 de agosto de 2009. Regulamenta dispositivos da Lei n° 12.300 de 16 de março de 2006, que institui a Política Estadual de

Resíduos Sólidos, e altera o inciso I do artigo 74 do Regulamento da Lei n° 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto n° 8.468, de 8 de setembro de 1976, 2009.

ESTADO DE SÃO PAULO. Panorama dos Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo – versão preliminar, 2014.

FRANCO, Rosana Gonçalves Ferreira; LANGE, Liséte Celina. Flow of e-waste at the city of Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 73-82, 2011.

FERREIRA, J. M. de B.; FERREIRA, A. C. A Sociedade da informação e o desafio da sucata eletrônica. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. VI, n. 3. P. 157-170, 2008.

HEIDEMANN, Leonardo Albuquerque; OLIVEIRA, Ângelo Mozart Medeiros de; VEIT, Eliane Angela. Ferramentas online no ensino de ciências: uma proposta com o Google Docs. Física na escola. São Paulo. v. 11, n. 2, 2010, p. 30-33.

ITU - International Telecommunications (2015). Sustainable management of waste electrical and electronic equipment in Latin America. Disponível em http://www.who.int/ceh/publications/ewaste_latinamerica/en/. Acesso em 27 de Agosto de 2018.

ITU - International Telecommunications (2017). The Global E-waste Monitor 2017. Disponível em: https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/GEM%202017/Global-E-waste%20Monitor%202017%20-%20Executive%20Summary.pdf. Acesso em 27 de Agosto de 2018.

KISSINGER, Meidad; REES, William E.; TIMMER, Vanessa. Interregional sustainability: governance and policy in an ecologically interdependent world. **Environmental science & policy**, v. 14, n. 8, p. 965-976, 2011.

NATUME, R. Y.; SANT'ANNA, F. S. P. Resíduos eletroeletrônicos: um desafio para o desenvolvimento sustentável e a nova lei da política nacional de resíduos sólidos. In: **3rd International Workshop on Advances in Cleaner Production. São Paulo**. 2011.

PINTO, D. P. S. – **Contribuição à avaliação de aterros de resíduos industriais**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011, 145 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.

SANT'ANNA, Lindsay Teixeira; MACHADO, Rosa Teresa Moreira; BRITO, M. J. Os resíduos eletroeletrônicos no Brasil e no exterior: diferenças legais e a premência de uma normatização mundial. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 37-53, 2014.

SANT'ANNA, Lindsay Teixeira; MACHADO, Rosa Teresa Moreira; DE BRITO, Mozar José. A logística reversa de resíduos eletroeletrônicos no Brasil e no mundo: o desafio da desarticulação dos atores. **Sustentabilidade em Debate**, v. 6, n. 2, p. 88-105, 2015.

SANTOS, Fábio Henrique Silva dos; SOUZA, Carlos Eduardo Gomes de. Resíduos de origem eletrônica. 2010.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. Resolução SMA Nº 38, de 05 de junho de 2012. Dispõe sobre ações a serem desenvolvidas no Projeto de Apoio à Gestão Municipal de Resíduos Sólidos, previsto no Decreto Nº 57.817, de 28 de fevereiro de 2012, que instituiu o Programa Estadual de Implementação de Projetos de Resíduos Sólidos, 2012.

SILVA, Jane Ciambele Souza da. **A responsabilidade social empresarial: o estudo de caso da Indústria de Botões Bonor**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

UNU. eWaste en América Latina – Análisis estadístico y recomendaciones de política pública. 2015. Disponível em: <https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2015/11/gsma-unu-ewaste2015-spa.pdf> Acesso em: 14 de setembro de 2018.

USHIZIMA, Mariana Monteiro; MARINS, Fernando Augusto Silva; MUNIZ JR, Jorge. Política Nacional de Resíduos Sólidos: Cenário da Legislação Brasileira com Foco nos Resíduos Eletroeletrônicos. **XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia: Gestão do Conhecimento para a Sociedade, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho-Unesp**, 2014.

WOLFF, E.; CONCEIÇÃO, S. V. **Resíduos sólidos:** a reciclagem de pilhas e baterias no brasil. [2003]. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2001_TR104_0146.pdf >. Acesso em: 29 de Agosto de 2018.

XAVIER, Lúcia Helena et al. Gestão de resíduos eletroeletrônicos: mapeamento da logística reversa de computadores e componentes no Brasil. In: **Anais do 3º Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, 2º Seminário da Região Nordeste sobre Resíduos Sólidos. João Pessoa, PB, Brasil**. 2010.