

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Jaqueline Terezinha Martins Corrêa Rodrigues

**Seleção de Variáveis para Prever a Demanda de
Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos no
Contexto da Logística Reversa**

Porto Alegre

2016

Jaqueline Terezinha Martins Corrêa Rodrigues

**SELEÇÃO DE VARIÁVEIS PARA PREVER A DEMANDA DE RESÍDUOS DE
EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS NO CONTEXTO DA LOGÍSTICA
REVERSA**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia, na área de concentração em Sistemas de Qualidade.

Orientador: Dra. Liane Werner

Porto Alegre

2016

Jaqueline Terezinha Martins Corrêa Rodrigues

**SELEÇÃO DE VARIÁVEIS PARA PREVER A DEMANDA DE RESÍDUOS DE
EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS NO CONTEXTO DA LOGÍSTICA
REVERSA**

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutora em Engenharia e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Liane Werner, Dra.

Orientador PPGEP/UFRGS

Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Dr.

Coordenador PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Prof. Istefani Carísio de Paula, Dra. (PPGEP/UFRGS)

Prof. Luciana Paulo Gomes, Dra. (PPGEC/UNISINOS)

Prof. Vera Lúcia Milani Martins, Dra. (IFRS)

Aos meus amados filhos

Lucas e Gustavo.

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo apoio, compreensão, carinho e palavras de conforto e incentivo. Sei que sempre estarão ao meu lado.

Aos meus filhos, Lucas e Gustavo, que, mesmo sem compreender muito bem o que eu estava fazendo, aceitaram as ausências e o pouco tempo disponível para eles. O sorriso, o abraço e o carinho de vocês são meus maiores motivadores.

À UFRGS, que me acolheu em 1990 quando ingressei na antiga Escola Técnica de Comércio, e em especial à Escola de Engenharia, onde realizei a graduação em Engenharia Elétrica e o mestrado e o doutorado em Engenharia de Produção, pela qualidade de ensino e dedicação de seus professores e demais servidores.

Ao IFRS, instituição onde atuo como docente, pelo apoio no final desta jornada, permitindo meu afastamento para qualificação.

Às pessoas que participaram das pesquisas, ou que contribuíram de alguma forma para que estas pudessem ser realizadas, por terem doado seu tempo e compartilhado seus conhecimentos.

Às professoras Istefani, Luciana e Vera por terem aceito o convite para participar de minha banca e pelas valorosas contribuições.

À prof Liane, minha orientadora no mestrado e doutorado, pelos ensinamentos, dedicação, paciência, carinho e amizade. Que nossa jornada acadêmica juntas não se encerre aqui.

RESUMO

Nas últimas décadas houve um incremento do uso de equipamentos eletroeletrônicos, que têm vida útil determinada por vários fatores, como o porte de equipamento e o comportamento do usuário, por exemplo. Quando estes equipamentos e seus acessórios são descartados tornam-se resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE). O objetivo desta tese é selecionar variáveis a serem utilizadas como base de um modelo de previsão de demanda para os REEE. O método de pesquisa adotado foi a pesquisa exploratória combinada com a pesquisa conclusiva, utilizando abordagens de caráter qualitativo e quantitativo. A parte qualitativa utiliza como técnicas de pesquisa a revisão bibliográfica, a revisão sistemática, o grupo focado e as entrevistas. Já em relação à parte quantitativa foram utilizados questionários, ferramentas estatísticas (gráficos e coeficiente de correlação posto-ordem de Spearman) e o método AHP. Foram elaborados cinco artigos científicos, que atingindo objetivos específicos, contribuem para o objetivo geral. O primeiro artigo visava obter informações sobre métodos e ferramentas utilizados para realizar a previsão de demanda de REEE. O segundo artigo pretendia delinear o cenário atual dos REEE do ponto de vista das responsabilidades dos *stakeholders* no processo de logística reversa. Os riscos e oportunidades decorrentes dos REEE foram abordados no artigo 3, fornecendo informações para o cenário do ponto de vista social, ambiental e econômico. Já o artigo 4 focou nas indústrias de equipamentos eletroeletrônicos do RS e buscou informações sobre a forma de produção, a composição dos produtos e ações destas indústrias para implantação do sistema de logística reversa para os REEE. No último artigo foi definido um conjunto de 21 variáveis que influenciam na logística reversa dos REEE e foi realizada a priorização destas variáveis. Como resultado, foram selecionadas 7 variáveis: estimativa de vida útil do equipamento (1°); Disponibilização de pontos de coleta de REEE (2°); Existência de um acordo setorial (3°); Número de equipamentos vendidos (4°); Incentivos para empresas de reciclagem/gerenciadoras de REEE na região (5°); Existência de empresas de reciclagem ou gerenciadoras de REEE na região (6°); Distância dos pontos de coleta de REEE (7°).

Palavras-chave: Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos. REEE. Previsão de Demanda. Logística Reversa.

ABSTRACT

In recent decades there has been an increase in the use of electrical and electronic equipment that have life cycles defined by several factors such as the size of the equipment and user behavior, for example. When this equipment and its accessories are disposed, they become waste electrical and electronic equipment (WEEE). The aim of this doctoral dissertation is to select variables to be used as basis for a demand forecasting model for WEEE. The research method adopted combined exploratory research and conclusive research, with a qualitative and quantitative approach. The following research techniques were used in the qualitative part: literature review, systematic review, focus group and interviews. Regarding the quantitative part, the following techniques were used: questionnaires, statistical tools (graphs and the Spearman's rank-order correlation coefficient) and the AHP method. Five scientific articles were written, which contributed to the general objective by reaching specific objectives. The first article aimed at obtaining information on methods and tools used to carry out demand forecasting of WEEE. The second article intended to describe the current scenario of WEEE from the perspective of the stakeholders' responsibility in the process of reverse logistics. The risks and opportunities resulting from WEEE were the theme of the third article, which provided information about the scenario from a social, environmental and economic point of view. The fourth article focused on the factories of electrical and electronic equipment of Rio Grande do Sul, and collected information on the product composition and production methods of such factories, and their actions to implement a system of reverse logistics for WEEE. The last article defined a set of 21 variables that influence the reverse logistics of WEEE, and arranged these variables in order of priority. As a result, seven variables were selected: estimate of life cycle of equipment (1st); Availability of WEEE collection points (2nd); Existence of a sector agreement (3rd); Number of equipment sold (4th); Incentives to WEEE recycling/managing companies in the area (5th); Existence of WEEE recycling or managing companies in the area (6th); Distance between WEEE collection points (7th).

Key words: Waste Electrical and Electronic Equipment. WEEE. Forecasting. Reverse logistic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Mapeamento da Cadeia Reversa dos REEE.	15
Figura 1.2 – Método de pesquisa da tese	19
Figura 1.3 – Esquema da tese	21
Figura 1.4 - Estrutura da pesquisa em formato de artigos	23
Figura 2.1 - Estratégia de busca na base de dados Science Direct.....	35
Figura 2.2 – Fluxo de informações da revisão sistemática	36
Figura 2.3 – Ano de publicação dos artigos selecionados	37
Figura 3.1 – Método de trabalho	63
Figura 3.2 – Esquema de atribuições para implantação de logística reversa para REEE	78
Figura 4.1 – Método de trabalho	92
Figura 4.2 – Etapas básicas do processo de gerenciamento de REEE	96
Figura 5.1 - <i>Guide to Greener Electronics</i> – November 2012	117
Figura 5.2 – Método.....	118
Figura 5.3 - Questionário	119
Figura 5.4– Porte das empresas participantes da pesquisa	124
Figura 5.5- Distribuição das respostas do Bloco 1 (Processo Produtivo).....	125
Figura 5.6- Distribuição das respostas do Bloco 2 (Produtos)	126
Figura 5.7- Distribuição das respostas do Bloco 3 (Informação aos consumidores)	127
Figura 5.8- Distribuição das respostas do Bloco 4 (PNRS)	128
Figura 5.9– Índice do Bloco Processo Produtivo – I_1	131
Figura 5.10– Índice do Bloco Produtos – I_2	131
Figura 5.11– Índice do Bloco Informação aos consumidores – I_3	132
Figura 5.12– Índice do Bloco Política Nacional dos Resíduos Sólidos – I_4	132
Figura 5.13– Índice geral	133
Figura 6.1– Esquemas dos processos de Logística e de Logística reversa	142
Figura 6.2- Mapeamento da Cadeia Reversa dos REEE.	146
Figura 6.3 – Método.....	148
Figura 6.4– Níveis de hierarquia	149
Figura 6.5 – Passos para cálculo do peso relativo do fator i	150
Figura 6.6– Diagrama de Pareto.....	157

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Materiais “verdes” para fabricação de EEE	32
Quadro 3.1 – Roteiro de questões para realização das entrevistas e do grupo focado.....	65
Quadro 3.2 – Opinião dos entrevistados sobre responsabilidades do processo de logística reversa para REEE	75
Quadro 4.1 – Comparação entre empresas gerenciadoras de REEE	98
Quadro 4.2 – Riscos e Oportunidades dos REEE	99
Quadro 6.1 – Níveis 2 e 3 do AHP	153
Quadro 7.1 – Responsabilidades dos <i>Stakeholders</i>	169

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Dados sobre continente e países onde foram realizados os estudos avaliados.....	38
Tabela 2.2 - Periódicos onde foram publicados os artigos selecionados.....	38
Tabela 2.3 - Número de artigos que contemplam previsões de resíduos por tipo de EEE.....	39
Tabela 2.4 - Quantidade de artigos que utilizou cada tipo de variável independente.....	40
Tabela 2.5 - Variável resposta para a previsão de geração de REEE.....	40
Tabela 3.1 – Categorização das respostas do grupo de consumidores adolescentes.....	75
Tabela 5.1 - Forma de contato e % de retorno dos questionários.....	121
Tabela 5.2 - Localização das empresas participantes.....	123
Tabela 5.3 – Valores significativos do Coeficiente de Spearman para as associações entre questões.....	129
Tabela 6.1 – Dados dos equipamentos eletroeletrônicos.....	145
Tabela 6.2 - Intensidade de importância do fator i em relação ao fator j	150
Tabela 6.3 – Valores de IR.....	151
Tabela 6.4 – Exemplo de matriz gerada com respostas de um dos especialistas.....	154
Tabela 6.5 – Exemplo de matriz normalizada.....	154
Tabela 6.6 – Pesos relativos segundo especialistas e Peso ponderado.....	155
Tabela 6.7 – Valores da Razão de Consistência (RC) por matriz e especialista.....	156
Tabela 6.8– Fatores classificados em ordem decrescente de importância.....	158
Tabela 6.9– Comparação da classificação das variáveis.....	159

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMAS E OBJETIVOS	16
1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA E DOS OBJETIVOS	17
1.3 DELINEAMENTO DO ESTUDO.....	18
1.3.1 MÉTODO DE PESQUISA.....	18
1.3.2 MÉTODO DE TRABALHO	20
1.4 DELIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	22
1.5 ESTRUTURA DA TESE	24
REFERÊNCIAS	24
2 ARTIGO 1: MÉTODOS DE PREVISÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA	27
1 INTRODUÇÃO	29
2 OS RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS (REEE)	30
3 PREVISÃO DE DEMANDA.....	33
4 METODOLOGIA	34
5 RESULTADOS	37
6 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS	43
APÊNDICE 2A - CHECKLIST	48
APÊNDICE 2B – LEVANTAMENTO DE DADOS.....	51
3 ARTIGO 2: POLÍTICA NACIONAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS E REEE: RESPONSABILIDADES E DIFICULDADES COMPARTILHADAS.....	56
1 INTRODUÇÃO	58
2 REGULAMENTAÇÃO DOS REEE.....	59
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	63
4 RESULTADOS DA COLETA DE DADOS	66
4.1 Governo	66
4.2 Fabricante de produto eletroeletrônico	68
4.3 Empresas gerenciadoras de REEE	69
4.4 Consumidores	71
5 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO.....	74
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
REFERÊNCIAS	80
4 ARTIGO 3 - RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS: RISCOS E OPORTUNIDADES	83
1 INTRODUÇÃO	85
2 RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS (REEE).....	86

3	RISCOS E OPORTUNIDADES DOS REEE	88
4	MÉTODO DE PESQUISA.....	92
5	RESULTADOS	94
6	DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	96
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
	REFERÊNCIAS	101
	APÊNDICE 4A - QUESTIONÁRIO.....	104
5	ARTIGO 4 - DIAGNÓSTICO DE INDÚSTRIAS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS DO RIO GRANDE DO SUL EM RELAÇÃO AOS IMPACTOS AMBIENTAIS E SISTEMA DE LOGÍSTICA REVERSA.....	105
1	INTRODUÇÃO	107
2	SETOR ELETROELETRÔNICO NO BRASIL E NO RIO GRANDE DO SUL ...	109
3	O IMPACTO DA PRODUÇÃO E DO PÓS-CONSUMO.....	111
4	MÉTODO	118
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	123
	5.1 Descrição das empresas	123
	5.2 Análise por blocos do questionário	124
6	CONCLUSÃO	133
	REFERÊNCIAS	135
6	ARTIGO 5: SELEÇÃO DE VARIÁVEIS PARA UM MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA PARA RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS NO CONTEXTO DA LOGÍSTICA REVERSA.....	139
1	INTRODUÇÃO	141
2	LOGÍSTICA REVERSA.....	142
3	RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS	145
4	PREVISÃO DE DEMANDA.....	147
5	MÉTODO	147
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	151
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	159
	REFERÊNCIAS	161
	APÊNDICE 6A - QUESTIONÁRIO.....	165
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	168
7.1	PANORAMA DOS REEE	168
7.2	SELEÇÃO DE VARIÁVEIS PARA UM MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA.....	173
7.3	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	175
	REFERÊNCIAS	176

1 INTRODUÇÃO

Os equipamentos eletroeletrônicos (EEE) fazem parte do dia a dia das pessoas, seja no trabalho, em casa ou na vida pessoal. Na União Europeia houve inserção no mercado de mais de 48 milhões de computadores e 32 milhões de televisores em 2005 (UNEP, 2009). No Brasil, em 2013, 97,2% das residências possuíam televisores, 92,5% possuíam telefone, 48,9% possuíam computadores e 75,2% da população brasileira acima de 10 anos possuía aparelho de telefonia celular (IBGE, 2015; TELECO, 2015a).

Após certo período de uso, as pessoas substituem estes equipamentos por modelos mais modernos e com novas funcionalidades, mesmo que eles ainda estejam funcionando adequadamente. Conforme Leite (2009), a introdução de novos modelos no mercado; a utilização de matérias primas menos duráveis e a dificuldade técnica e econômica de conserto são alguns fatores que contribuem para o descarte dos produtos. Como consequência, estes equipamentos tornam-se resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) ao chegarem ao final de sua vida útil.

A disposição equivocada destes resíduos pode causar danos ao meio ambiente e à saúde humana, porque estes podem conter metais pesados como chumbo e cádmio, por exemplo, que podem contaminar a água, o solo e o ar (UNEP, 2009). Por este motivo, várias nações passaram a ter regulamentações específicas para tratamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. A União Europeia, através da diretiva WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*) de 2002, estabeleceu a responsabilidade dos produtores pelo produto até sua reutilização no processo produtivo ou destinação final, além de exigir que o *design* e a produção destes equipamentos facilitem a desmontagem e a separação de peças para reaproveitamento ou reciclagem. No Japão, a primeira política que trata do retorno dos equipamentos é de 1998 e os consumidores pagam taxas para os fabricantes visando a correta disposição do produto após sua vida útil (NNOROM; OSIBANJO, 2008).

No Brasil foi instituída, em 2010, através da lei nº 12.305, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Esta política tem como objetivos, dentre outros, estimular a adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços, reduzir o volume e a periculosidade dos resíduos perigosos e promover a gestão integrada de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

A PNRS obriga, em seu artigo 33, a estruturação e implantação de sistemas de logística reversa para produtos eletroeletrônicos e seus componentes e afirma que este sistema é de responsabilidade dos fabricantes, distribuidores e comerciantes (BRASIL, 2010).

“Art. 33. 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)

Segundo Rogers e Tibben-Lembke (1999), logística reversa pode ser definida como o processo de planejamento, implantação e controle do fluxo de matérias primas, de produtos em processo e de produtos acabados, bem como das informações relativas ao processo, do ponto de consumo até seu destino final, com o objetivo de gerar valor ou dispor adequadamente o produto. A PNRS determina que o objetivo da logística reversa é viabilizar a coleta dos resíduos e sua restituição ao setor produtivo para reaproveitamento ou para destinação adequada (BRASIL, 2010).

Leite (2009) apresenta dois tipos de logística reversa. A que se preocupa com o fluxo reverso de produtos e materiais descartados depois de finalizada sua utilidade é chamada de logística reversa de pós-consumo. Já a logística reversa de pós-venda trata de produtos e materiais com pouco ou nenhum uso, que retornam por problemas de qualidade, final de contrato de consignação, etc. A logística reversa proposta pela PNRS é a de pós-consumo e aplica-se aos produtos descartados após seu uso pelo consumidor (BRASIL, 2010). Este será o conceito adotado nesta tese quando se utilizar o termo logística reversa.

Brito e Dekker (2003) sugerem que a logística reversa seja analisada sob 4 pontos de vista: (i) Razões para que os produtos retornem; (ii) Tipo de produtos retornados; (iii) *Stakeholders* da cadeia reversa; e (iv) Forma de implantação da logística reversa. Os autores sugerem que as empresas adotem a logística reversa por motivos econômicos, avaliando o quanto podem lucrar com este sistema, direta ou indiretamente. Além disso, a obrigatoriedade legal e a responsabilidade social e ambiental também são fatores motivadores para que as empresas implantem o sistema.

É preciso conhecer a composição, a forma de deterioração e o tipo de produto que está sendo retornado pela logística reversa. Para Brito e Dekker (2003) o número de componentes, os tipos de materiais utilizados (plásticos, metais, óleos, químicos...) e a forma de agrupamento destes materiais é que irão determinar o quanto o produto pode ser reutilizado ou reprocessado, influenciando no fator econômico da logística reversa.

Nnorom e Osibanjo (2008) comentam a existência de quatro *stakeholders* no processo de logística reversa: governo, fabricantes, consumidores e empresas gerenciadoras de resíduos. Já Brito e Dekker (2003) afirmam que é preciso considerar os *stakeholders* da cadeia direta (fornecedores, fabricantes, atacadista e varejista), da cadeia reversa especializada (intermediários e empresas especializadas em reciclagem) e indiretos (instituição de caridade).

Santos (2012) apresenta o mapeamento da cadeia reversa para os REEE e que está ilustrado na Figura 1.1. O ciclo direto inicia-se com a fabricação, seguida pela distribuição e o consumo dos produtos. Após o produto ser utilizado, inicia-se o ciclo reverso. O produto pode ser encaminhado para reuso (mercado de segunda mão), organizações de coleta/segregação, remanufatura ou ser disposto de forma incorreta. A partir deste ponto, muitos caminhos podem ser percorridos, como, por exemplo, o resíduo ser encaminhado para uma organização que faça a segregação das peças (empresa gerenciadora de resíduos), que encaminha os resíduos para empresas especializadas em reciclagem para que seja transformado em matéria prima.

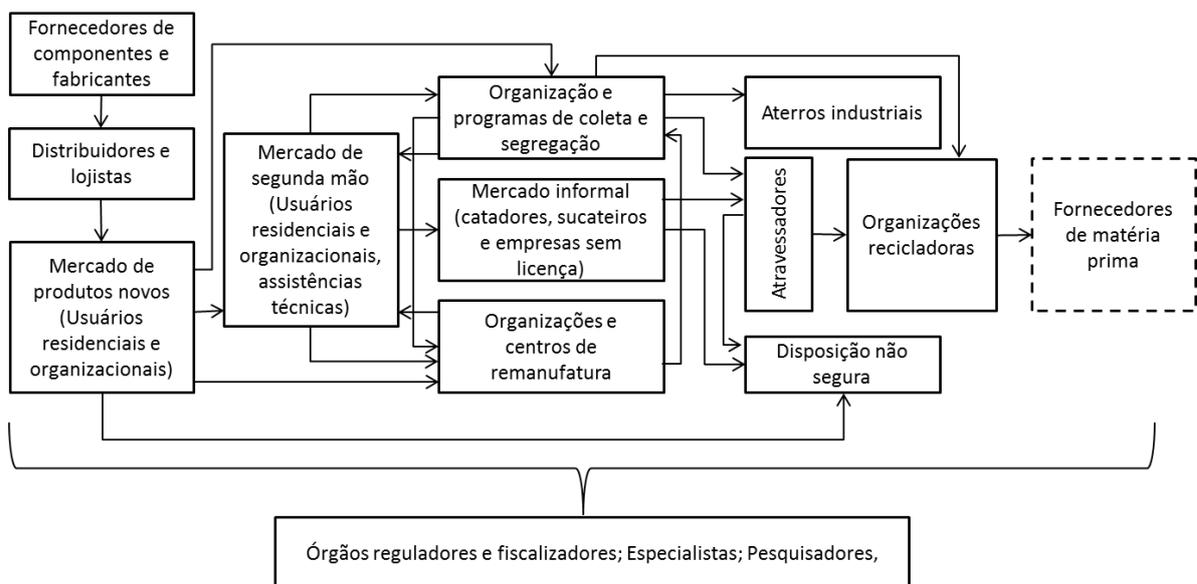


Figura 1.1 - Mapeamento da Cadeia Reversa dos REEE.

Fonte: SANTOS (2012)

Em pesquisa realizada na cidade de Belo Horizonte/MG, Franco e Lange (2011) verificaram que o destino mais utilizado pelos consumidores particulares para aparelhos de telefonia móvel que não seriam mais utilizados era a doação (34%), a guarda por tempo indeterminado (23%) e a venda ou troca na compra de um novo (23%). Somente 2% dos consumidores entrevistados enviava o equipamento para reciclagem. Já no estudo realizado por Volponi, Gioto Jr. e Fajgenbaun (2008), com alunos e funcionários da Unicamp, 17% dos celulares e 8% dos computadores foram descartados juntamente com o resíduo comum.

Segundo Lacerda (2013), Leite (2009) e Shibao, Moori e dos Santos (2010) para implantar um sistema de logística reversa com sucesso existem alguns pontos que precisam ser observados: (i) é necessário conhecer as características dos produtos a serem captados, como quantidade, peso, tamanho e cuidados necessários para transporte; (ii) a localização geográfica dos pontos de coleta e dos destinos (centros de consolidação, desmanche, reciclagem e remanufatura) influencia no custo da logística reversa, pois geralmente são transportadas pequenas quantidades que precisam ser captadas em muitos pontos; (iii) também é importante a implantação de um sistema de informação que permita obter dados sobre os produtos coletados como tipo, condições, fabricante, embalagem, rastreabilidade, formas de armazenamento e estocagem.

1.1 TEMAS E OBJETIVOS

O tema abordado neste trabalho é o resíduo de equipamento eletroeletrônico (REEE). O objetivo geral é selecionar variáveis a serem utilizadas como base de um modelo de previsão de demanda para os REEE. Os objetivos específicos são:

- Apresentar os modelos de previsão de demanda utilizados para estes REEE e as variáveis utilizadas nestes modelos.
- Analisar o papel dos *stakeholders* no sistema de logística reversa para os REEE (fabricantes, gerenciadores de REEE, consumidores e governo) e suas inter-relações.
- Analisar os riscos e oportunidades oriundos dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, sob os pontos de vista ambiental, social e econômico.
- Realizar um diagnóstico da forma que as indústrias de equipamentos eletroeletrônicos estão organizadas para reduzir o impacto ambiental de sua produção e implantar o sistema

de logística reversa para seus produtos. Este estudo será realizado no estado do Rio Grande do Sul.

1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA E DOS OBJETIVOS

Nos últimos anos houve um aumento da oferta de equipamentos eletroeletrônicos decorrente da introdução de novas tecnologias. Até 1997, a telefonia celular no Brasil era analógica (TELECO, 2015b). Em menos de 20 anos houve introdução do sistema digital e mudanças de tecnologia de transmissão até os 4G atuais. Os aparelhos de telefonia antigos já não funcionavam mais com a nova tecnologia e precisavam ser substituídos por novos, mais modernos e que ofereciam serviços mais atraentes para o usuário. Esse é apenas um dos exemplos de como os equipamentos eletroeletrônicos tiveram seu tempo de uso reduzido, ampliando o volume de resíduos gerados anualmente.

Para que o sistema de logística reversa dos REEE, imposta pela PNRS em 2010, seja realidade é preciso que todos os envolvidos no processo orientem suas ações para um objetivo comum. Mas por ser ainda uma legislação nova, os consumidores, governo, indústrias e empresas de reciclagem nem sempre tem conhecimento de suas obrigações, dos riscos do descarte inadequado e das oportunidades de negócios que podem surgir para coleta, armazenagem, reciclagem e destinação final destes resíduos.

Uma das dificuldades para implantar o processo de logística reversa para os equipamentos eletroeletrônicos é definir uma taxa de resíduos a serem coletados e processados (LEITE, 2009; SHIBAO; MOORI; SANTOS, 2010). Estudos realizados pela Universidade das Nações Unidas estimam que serão geradas aproximadamente 12 milhões de toneladas por ano deste tipo de resíduos em 2020, somente na União Europeia (HUISMAN *et al.*, 2007). Kang e Schoenung (2006) estimaram a quantidade de computadores descartados na Califórnia, Estados Unidos, utilizando dados históricos e projeções de vendas de outras fontes, além da estimativa do fim de vida útil dos computadores. No Brasil existem poucos trabalhos que apresentam previsões para estes resíduos. Um deles foi realizado por Araújo *et al.* (2012), que estimou uma taxa de 3,77 kg/per capita/ano de REEE, considerando modelos diferentes para mercados maduros (TV, geladeira, freezer, máquina de lavar, aparelhos de som) e não maduros (computadores e celulares).

Potdar e Rogers (2012) afirmam que prever a quantidade de produtos que são objetos do sistema de logística reversa é o primeiro passo para uma implantação adequada deste, sendo necessárias previsões acuradas e métodos robustos. Uma destas dificuldades para definir o modelo de previsão reside na existência de muitos fatores que podem influenciar no sistema de logística reversa, considerando, dentre outros, dados do comércio de EEE, características dos consumidores e de suas residências e informações sobre destinação final dos equipamentos. Some-se a estes fatores uma nova lei, e seus desdobramentos, que define responsabilidades sobre os REEE e exige que seja implantado um sistema de logística reversa.

Ressalta-se que as previsões de demanda variam conforme período e região, o que dificulta ainda mais sua precisão e aplicabilidade e justifica um estudo realizado no Rio Grande do Sul, região de atuação e de interesse de pesquisa da autora.

1.3 DELINEAMENTO DO ESTUDO

Com a definição do tema e dos objetivos, e estando justificada a pesquisa, é preciso delinear o estudo, definindo o método de pesquisa e de trabalho a serem adotados.

1.3.1 MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa adotado nesta tese é a pesquisa exploratória combinada com a pesquisa conclusiva. Segundo Gil (2010), pesquisas exploratórias objetivam desenvolver uma visão mais ampla acerca de um tema ou problema, sendo geralmente utilizadas nas fases iniciais da pesquisa e dando subsídios para estudos mais aprofundados. Koche (1997) afirma que é uma forma de conhecer a natureza do fenômeno em estudo, apontando as características essenciais das variáveis envolvidas e buscando entender se estas variáveis se relacionam. Já a pesquisa conclusiva, segundo Malhotra (2011), é desenvolvida para auxiliar na tomada de decisões e pode ser utilizada para verificar dados obtidos na pesquisa exploratória, testando hipóteses ou analisando relacionamentos. A figura 1.2 apresenta o método de pesquisa deste trabalho.

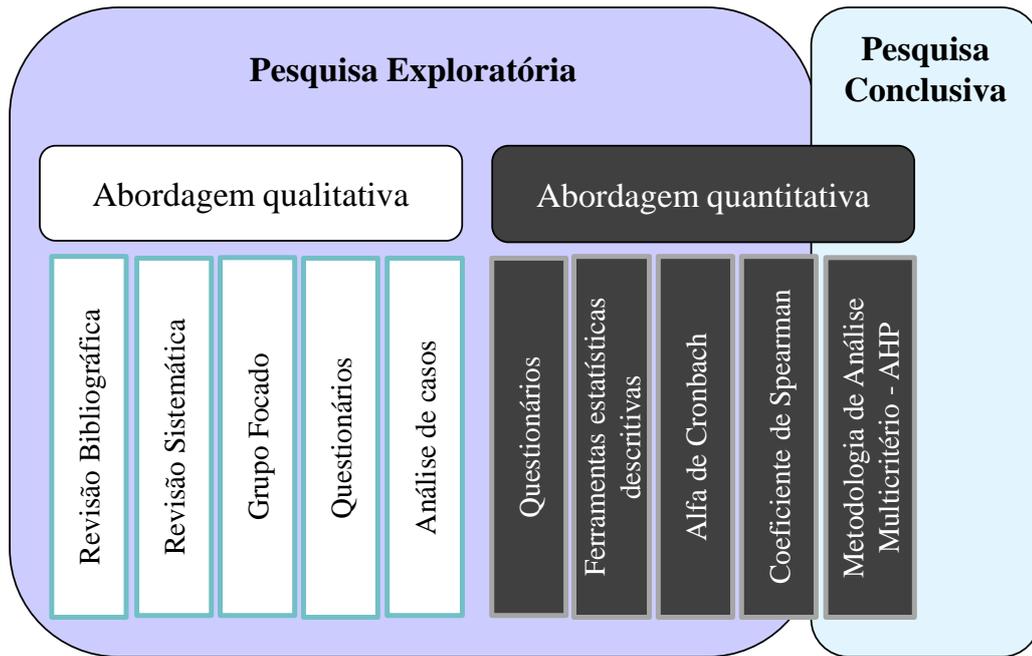


Figura 1.2 – Método de pesquisa da tese

A abordagem de pesquisa qualitativa pode alcançar uma compreensão das razões e motivações subjacentes ao tema, tendo como objeto um pequeno número de casos e não possibilita extrapolações estatísticas. Em contrapartida, a pesquisa quantitativa pode trabalhar com números elevados de casos e permitir quantificações de dados e generalizações de resultados amostrais para a população em estudo. Malhotra (2011) considera que a pesquisa qualitativa e a quantitativa são complementares e, por este motivo, este trabalho tem abordagens qualitativas e quantitativas.

A parte qualitativa utilizou como técnicas de pesquisa a revisão bibliográfica, revisão sistemática, grupo focado, entrevistas, questionários e análise multicase. A revisão bibliográfica é parte essencial em qualquer pesquisa, pois é fundamental para familiarizar e elevar o conhecimento e compreensão de determinado assunto por parte do pesquisador, segundo Mattar (2008). Já a revisão sistemática é, conforme a Declaração PRISMA, uma forma de pesquisa bem estruturada e que defina claramente as formas de busca, os critérios de inclusão e exclusão e as informações que serão obtidas dos documentos analisados (MOHER *et al.*, 2009).

O grupo focado tem como vantagem a riqueza dos comentários, ideias e percepções gerados pela interação do grupo, sendo que o resultado depende muito da atuação do moderador (MALHOTRA, 2011). Também foram realizadas entrevistas, procedimento utilizado para obter informações sobre determinado assunto num encontro entre duas pessoas

Estas entrevistas podem ser classificadas como semiestruturadas, seguindo roteiros pré-definidos. Os questionários utilizados na fase qualitativa da tese contêm questões abertas, onde os entrevistados podiam dissertar sobre as questões livremente (MARCONI; LAKATOS, 2003). Conforme Yin (2001), a análise multicase é uma forma para se examinar acontecimentos, sem permitir generalizações estatísticas.

Já em relação à parte quantitativa foram utilizados questionários, ferramentas estatísticas descritivas, Alfa de Cronbach, coeficiente de Spearman e a metodologia de análise multicritério AHP. Nos questionários foram utilizadas questões fechadas, ou estruturadas, onde são apresentadas opções de resposta ao entrevistado para cada questão. Este tipo de questão apresenta vantagens como facilidade e rapidez de aplicação, processamento e análise das respostas, mas podem ser introduzidos vieses nos dados pelo fato de se oferecer alternativas de respostas (MATTAR, 2008; GIL, 2010). Dentre as ferramentas estatísticas descritivas utilizaram-se frequência absoluta, média aritmética simples, gráficos e tabelas.

O Alfa de Cronbach foi utilizado para avaliar a consistência interna dos dados obtidos por questionários (FIPECAFI, 2007). O coeficiente de correlação posto-ordem r_s de Spearman foi a ferramenta utilizada para medir a associação entre duas variáveis ordinais e verificar o grau desta associação, com determinado nível de significância α , em um questionário utilizando a escala Likert (SIEGEL, 2006).

O Método de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchic Process*, AHP) é uma ferramenta utilizada para selecionar alternativas, considerando a subjetividade inerente aos problemas de decisão, tratando cientificamente os julgamentos de valor (SAATY; VARGAS, 2012). O AHP foi utilizado para seleção de variáveis por especialistas.

1.3.2 MÉTODO DE TRABALHO

A tese é composta por cinco artigos, que visam atender os objetivos propostos e se encadeiam conforme mostrado na Figura 1.3. Para se conhecer as variáveis envolvidas no modelo de previsão de demanda para implantação de logística reversa dos REEE é preciso conhecer os modelos de previsão já utilizados por outros autores e os aspectos relativos aos resíduos em estudo.

Os aspectos considerados na tese foram o legal, o social e o ambiental. O aspecto legal originou-se da introdução da Política Nacional de Resíduos Sólidos e obrigatoriedade da implantação de logística reversa para os EEE. Já os aspectos social e ambiental derivam do

tripé da sustentabilidade (DIAS, 2011). O aspecto econômico foi abordado de forma transversal ao longo da tese, por ser mais complexo e necessitar de análises dedicadas.

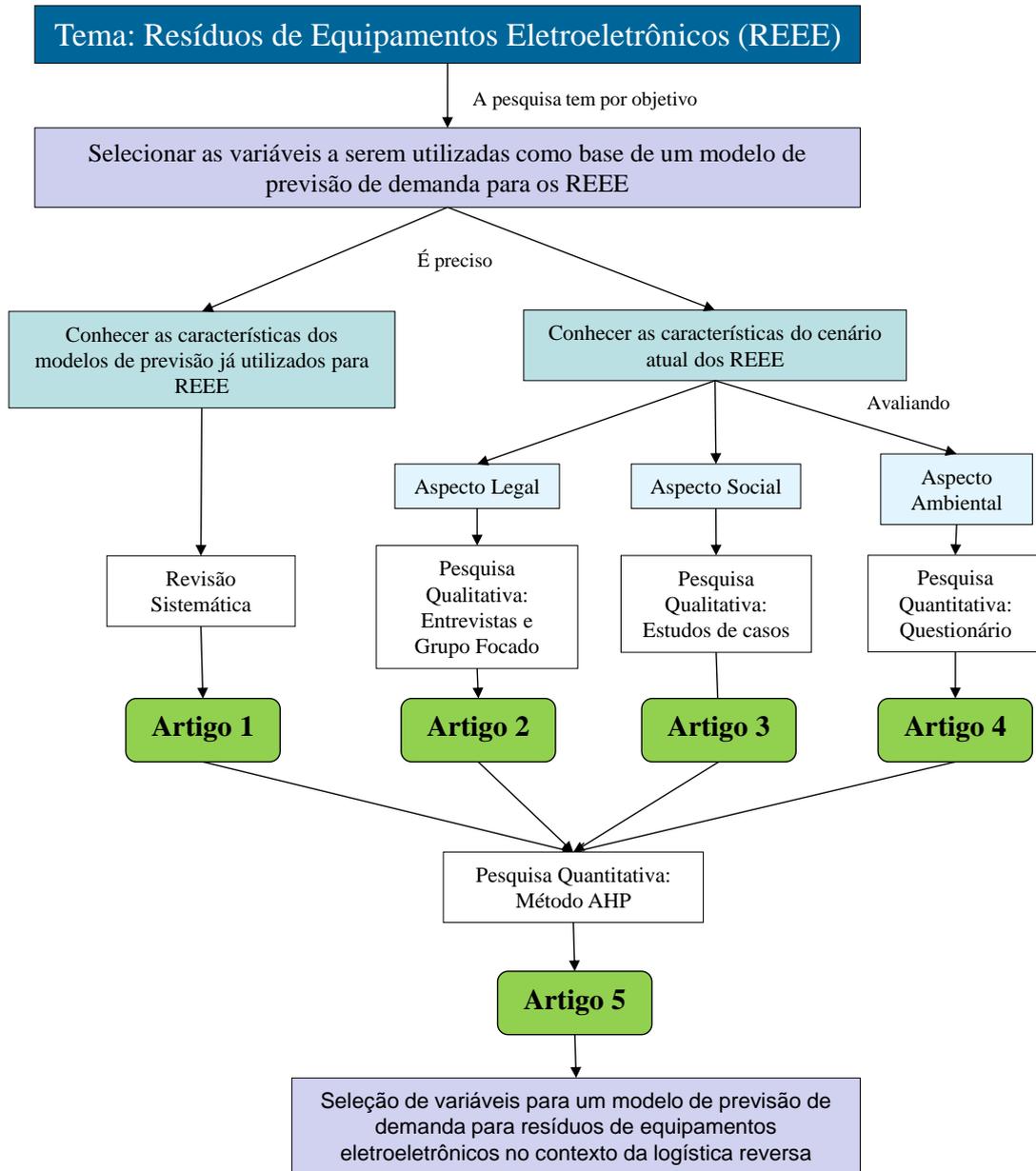


Figura 1.3 – Esquema da tese

O artigo 1 (Métodos de previsão da geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos: uma revisão sistemática) é uma revisão sistemática com objetivo de obter informações sobre as variáveis, os métodos e ferramentas utilizados por outros autores para realizar previsões de demanda para REEE e serviu de base para elaboração do artigo final da tese. O artigo 1 foi submetido ao periódico *Waste Management*.

O artigo 2 (A Política Nacional dos Resíduos Sólidos e REEE: responsabilidades e dificuldades compartilhadas) está aguardando parecer do periódico *Ambiente e Sociedade*. Este artigo fornece informações sobre o cenário atual dos REEE, considerando os *stakeholders* do processo: governo, fabricantes, empresas gerenciadoras de resíduos e consumidores, bem como apresenta as dificuldades e benefícios da implantação do sistema de logística reversa para os REEE.

O artigo 3 (Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos: riscos e oportunidades) está aguardando parecer do periódico *Eng. Sanitária e Ambiental*. As informações deste artigo também são úteis para determinação do cenário atual dos REEE, focando, principalmente, no aspecto social, nos trabalhadores do setor de reciclagem e em suas condições de trabalho.

O artigo 4 (Diagnóstico da indústria gaúcha de equipamentos eletroeletrônicos em relação aos resíduos eletroeletrônicos e o impacto ambiental da produção) é um artigo que traz informações sobre a indústria de EEE, situadas no RS, a respeito da sua forma de produção e seus produtos, da interação com consumidor e do atendimento à legislação ambiental. Este artigo será submetido à *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*.

O artigo 5 (Seleção de variáveis para um modelo de previsão de demanda para resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no contexto da logística reversa) apresenta um levantamento das variáveis que influenciam na previsão de demanda dos REEE e utiliza o método AHP para selecionar as variáveis mais significativas. Este artigo será submetido ao periódico *Resources, Conservation and Recycling*.

A figura 1.4 apresenta os artigos identificando o problema e os objetivos, o método de pesquisa, a contribuição do artigo para atingimento dos objetivos da tese.

1.4 DELIMITAÇÕES DO ESTUDO

Do ponto de vista dos EEE, o trabalho realizado não se aplica a equipamentos eletroeletrônicos industriais (grande porte), médicos e brinquedos. Salienta-se que o conceito de resíduo de equipamento eletroeletrônico utilizado na tese é o que considera o equipamento por inteiro e seus componentes, e não somente seu circuito eletrônico, ao final de sua vida útil.

Artigo	Título	Objetivos do artigo	Método de pesquisa	Contribuições do artigo	Periódico
1	Métodos de previsão da geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos: uma revisão sistemática	- Conhecer os modelos que foram utilizados para realizar as previsões de REEE, além das ferramentas, variáveis consideradas e premissas/restrições de cada modelo.	- Revisão bibliográfica - Revisão sistemática	O artigo busca atender os objetivos específicos: - Conhecer os REEE; - Analisar os modelos de previsão de demanda e as variáveis utilizadas para os REEE	Waste Management (submetido) Qualis A2 (Engenharia III) e A1 (Ciências Ambientais)
2	A Política Nacional dos Resíduos Sólidos e REEE: responsabilidades e dificuldades compartilhadas	- Apresentar a legislação brasileira e de outros países no que se refere aos REEE - Verificar a percepção dos envolvidos a respeito das atribuições de cada um na implementação desta nova política; - Verificar quais as dificuldades/obstáculos podem ser encontradas na implementação da PNRS	- Revisão bibliográfica - Grupo focado - Entrevista semi-estruturada - Questionário	O artigo busca atender os objetivos específicos: - Apresentar a PNRS e regulamentação internacional para os REEE. - Analisar o papel dos <i>stakeholders</i> no sistema de logística reversa para os REEE e suas inter-relações	Ambiente & Sociedade (submetido) Qualis B3 (Eng III) e A2 (Ciências Ambientais)
3	Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos: riscos e oportunidades	- Analisar o impacto da intensificação do uso da tecnologia e da geração dos REEE - Levantar as possíveis oportunidades de negócios que poderão surgir da necessidade de tratamento e reciclagem de resíduos eletroeletrônicos.	- Revisão bibliográfica - Questionário com questões abertas - Estudo de casos	O artigo busca atender o objetivo específico: - Analisar os riscos e oportunidades dos REEE, do ponto de vista ambiental, social e econômico.	Engenharia Sanitária e Ambiental (submetido) Qualis B2 (Engenharia III) e A2 (Ciências Ambientais)
4	Diagnóstico de indústrias de equipamentos eletroeletrônicos do Rio Grande do Sul em relação aos impactos ambientais e sistema de logística reversa	- Avaliar como as indústrias gaúchas de EEE estão agindo para redução do impacto ambiental; - Classificar as indústrias de acordo com sua preocupação ambiental e atendimento de legislação.	- Revisão bibliográfica - Questionário fechado - Análises estatísticas descritivas e gráficos - Coeficiente de Spearman	O artigo busca atender o objetivo específico: - Realizar um diagnóstico da forma que as indústrias de EEE estão organizadas para reduzir o impacto ambiental de sua produção e implantar o sistema de logística reversa para seus produtos.	Revista Brasileira de Ciências Ambientais (a ser submetido) Qualis B1 (Ciências Ambientais)
5	Seleção de variáveis para um modelo de previsão de demanda para resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no contexto da logística reversa	- Selecionar variáveis a serem utilizadas como base para um modelo de previsão de demanda para REEE - Dar subsídios para planejamento da logística reversa para REEE, especificamente no Rio Grande do Sul.	- Revisão bibliográfica - Questionário - Método AHP	Atendimento do objetivo geral: Selecionar as variáveis a serem utilizadas como base de um modelo de previsão de demanda para os REEE	Resources, Conservation and Recycling (a ser submetido) Qualis A2 (Engenharia III)

Figura 1.4 - Estrutura da pesquisa em formato de artigos

A logística reversa citada nos próximos capítulos trata do pós-consumo, ou seja, dos equipamentos que perdem sua utilidade para o primeiro usuário após terem sido utilizados por determinado período. Não será objeto desta tese avaliar a logística reversa pós-venda.

Nesta tese também não será abordada diretamente a questão dos custos envolvidos na logística reversa para EEE, por ser um tema complexo e necessitar de estudos específicos para este fim. Entretanto, o resultado deste trabalho poderá ser utilizado em trabalhos futuros.

As pesquisas foram realizadas no estado do Rio Grande do Sul, por ser a região que a pesquisadora tem maior facilidade de acesso aos representantes de empresas e órgãos públicos que poderiam contribuir para a realização deste trabalho.

Não será proposto um modelo específico para previsão de demanda para os REEE, apenas serão fornecidas diretrizes para sua determinação em trabalhos futuros. O método AHP foi utilizado para determinar as variáveis independentes com maior importância para compor este modelo, que foi definido em função da inexistência de bancos de dados que permitissem o uso de métodos mais robustos de seleção de variáveis.

1.5 ESTRUTURA DA TESE

A tese apresenta um capítulo introdutório, onde se aborda o tema, os objetivos, as justificativas e o método de pesquisa. Na sequência, são 5 capítulos que apresentam os artigos realizados durante o período do curso de Doutorado em Engenharia de Produção, citados na Figura 1.4. O capítulo final apresentará as conclusões do trabalho e as indicações de pesquisas futuras.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M.G.; MAGRINI, A.; MAHLER, C.F.; BILITEWSKI, B. A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil. **Waste Management**, v. 32, p. 335–342, 2012.

BRASIL. Lei 12.305. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2010.

BRITO, M. P.; DEKKER, R. **A Framework for Reverse Logistics**. Erim Report Series Research in Management Ers-2003-045-LIS. Erasmus University Rotterdam. The Netherlands. April 2003.

DIAS, R. **Gestão Ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2011.

FIPECAFI - Fundação Instituto de Pesquisa Contábeis, Atuariais e Financeiras. **Análise Multivariada**: para cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia. São Paulo: Atlas, 2007.

FRANCO, R. G. F.; LANGE, L. C. Estimativa de fluxo dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. **Eng Sanit Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 73-82, jan/mar 2011.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas em pesquisa social**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

HUISMAN, J.; *et al.* **2008 Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)**. Bonn: United Nations University, 2007.

IBGE. **Síntese de indicadores 2013**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2013/sintese_defaultxls.shtml>. Acesso em: 14 jan 2015.

KANG H.Y.; SCHOENUNG J.M. Estimation of future outflows and infrastructure needed to recycle personal computer systems in California. **Journal of Hazardous Materials**, v. B137, p. 1165–1174, 2006.

KOCHE, J.C. **Fundamentos de metodologia da pesquisa**. 14. ed. Petrópolis: Vozes, 1997.

LACERDA, L. **Logística Reversa**: uma visão sobre conceitos básicos e práticas operacionais. Disponível em: <http://www.sargas.com.br/site/artigos_pdf/artigo_logistica_reversa_leonardo_lacerda.pdf>. Acesso em: 21 jan 2013.

LEITE, P. R. **Logística Reversa**: meio ambiente e competitividade. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

MALHOTRA, N. **Pesquisa de Marketing**: Foco na Decisão. 3 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de Marketing**. Edição Compacta. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

MOHER D, LIBERATI A, TETZLAFF J, ALTMAN DG, THE PRISMA GROUP. **Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement**. PLoS Med 6(6): e1000097. DOI:10.1371/journal.pmed1000097. 2009.

NNOROM, I.C.; OSIBANJO, O. Overview of electronic waste (e-waste) management practices and legislations, and their poor application in the developing countries. **Resources, Conservation & Recycling**, n. 52, p. 843-858, 2008.

POTDAR, A.; ROGERS, J. Reason-code based model to forecast product returns. **Foresight**, v. 14, n. 2, p. 105–120, 2012.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. **Going backwards: reverse logistics trends and practices**. Reno: Universidade de Nevada, 1999.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process**. 2nd ed. Boston, MA: Springer, 2012. DOI 10.1007/978-1-4614-3597-6

SANTOS, C.A.F. dos. **A gestão de resíduos eletroeletrônicos e suas consequências para a sustentabilidade: um estudo de múltiplos casos na região metropolitana de Porto Alegre**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Administração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012

SHIBAO, F. Y.; MOORI, R. G.; DOS SANTOS, M. R. A logística reversa e a sustentabilidade empresarial. **Anais**. XIII Seminários em Administração – FEA - USP. São Paulo, 2010.

SIEGEL, S. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006

TELECO. **Estatísticas de Domicílios Brasileiros** (IBGE - PNAD). Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/pnad.asp>>. Aceso em: 14 jan 2015(a).

_____. **Telefonia Celular no Brasil**. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialcelb/pagina_4.asp>. Acesso em: 31 jul 2015(b).

UNEP. United Nation Environment Programm. **Recycling – From e-waste to resources**. United Nations Environment Programme & United Nations University, 2009.

VOLPONI, F. B.; GIOTO JR, M. E.; FAJGENBAUN, R. Estudo sobre o destino e estimativa de vida útil de computadores e celulares da comunidade da UNICAMP. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, v. 4, n. 1, Ago/2008.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

2 ARTIGO 1: Métodos de previsão da geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos: uma revisão sistemática

Forecasting methods of generation of waste electrical and electronic equipment:
a systematic review

Submetido ao periódico

Waste Management

Qualis A2 (Engenharia III) e A1 (Ciências Ambientais)

Resumo

Nas últimas décadas houve um incremento significativo do uso de equipamentos eletroeletrônicos nas residências, escritórios e indústrias. Estes equipamentos têm vida útil determinada por vários fatores, como o porte de equipamento e o comportamento do usuário. Quando eles não são mais utilizados tornam-se resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE). Com o objetivo de conhecer como foram realizadas as previsões de geração de REEE, que variáveis e ferramentas foram utilizadas, realizou-se uma revisão sistemática. A busca em 5 bases de dados utilizando as palavras-chave “*electronic waste*” ou “WEEE” ou “*e-waste*” e “*forecasting*” retornou 854 artigos. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão chegou-se a 28 artigos. Os artigos selecionados foram analisados e as informações a respeito das variáveis, do método e das ferramentas utilizadas para realizar a previsão deste tipo de resíduo, bem como informações sobre o contexto e o tipo de pesquisa realizada, foram tabelados. Como resultado, salienta-se que os artigos selecionados concentraram-se em poucos periódicos, que houve intenso uso de ferramentas estatísticas e que a Regressão e o MFA (*Material Flow Analysis*) foram os métodos de previsão mais utilizados.

Palavras-chave: Resíduo de equipamento eletroeletrônico; REEE; previsão

Abstract

In recent decades there has been a significant increase in the use of electronic equipment in homes, offices and industries. These equipments have finite useful life by several factors such as the size of equipment and behavior user. When they are not used become electronic waste. In order to know how were made forecasting of electronic waste generation carried out a systematic review. The search in 5 databases used the key words "electronic waste" or "WEEE" or "e-waste" and "forecasting" and it was returned 854 articles. After apply the inclusion and exclusion criteria it was reached on 28 articles. Selected articles were analyzed and the information about the variables, the method and the tools used to perform the forecasting of electronic waste, the context information and the type of survey were tabulated. As a result, it is noted that the selected articles concentrated in a few newspapers, there was heavy use of statistical tools and the forecasting methods more used were the regression and the MFA (Material flow analysis).

Key-words: Waste electric and electronic equipment; WEEE; forecasting

1 INTRODUÇÃO

O equipamento cujo funcionamento depende de corrente elétrica, ou de campos eletromagnéticos, que não ultrapasse a tensão nominal de 1000 V para corrente alternada e 1500 V para corrente contínua, é chamado de equipamento eletroeletrônico (EEE), segundo a diretiva 2002/96/CE do Parlamento Europeu (EUROPEAN UNION, 2012). Estes equipamentos estão cada vez mais presentes na vida das pessoas, independente de idade, escolaridade ou classe social. No Brasil, segundo a TELECO (2015), em 2013, 97,2% das residências possuíam televisores, 92,5% possuíam telefone e 48,9% possuíam computadores. O IBGE (2015) apresenta o percentual de 75,2% da população brasileira acima de 10 anos que, em 2013, possuía aparelho de telefonia celular.

Estes equipamentos podem auxiliar na realização de trabalhos profissionais e domésticos, melhorar a comunicação e permitir acesso às informações do mundo, mas tornam-se resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) quando perdem sua utilidade ou são substituídos. Estes resíduos, se descartados de forma incorreta, podem gerar danos ao ser humano e ao meio ambiente, pois possuem em suas composições elementos químicos perigosos, como chumbo e cádmio, por exemplo. O descarte dos equipamentos eletroeletrônicos ocorre, principalmente, devido à perda de funcionalidade, inserção de novas tecnologias, questões estéticas, valor emocional ou inviabilidade de conserto (OSIBANJO; NNOROM; OGBONNA, 2008; FRANCO, 2008).

Entretanto, há escassez de dados sobre vida útil e descarte de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil e estas são informações essenciais para realizar estimativas sobre resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, segundo Polák e Drápalová (2012). Alguns trabalhos, como o de Franco e Lange (2011), adotam padrões de agências americanas ou apresentam estimativas empíricas de uma determinada região para a vida útil dos EEE. Aguiar *et al.* (2010) apresenta a estimativa da Secretaria Municipal de Urbanismo de Mossoró/RN, onde 10% do resíduo domiciliar coletado é de REEE, sem descrição de como a secretaria chegou a este resultado. Na mesma linha, uma estimativa para o número de aparelhos celulares a serem descartados em 2 ou 3 anos, considerando dados sobre as vendas em lojas da cidade em determinado período, foi apresentada no trabalho de Padilha *et al.* (2009) para a cidade de Carazinho/RS.

Para previsão da quantidade de descarte de resíduo de equipamento eletroeletrônico é preciso conhecer o caminho percorrido por estes equipamentos até serem descartados. O ciclo de vida dos produtos eletroeletrônicos, segundo a US EPA (2012), tem quatro fases: (i) o primeiro usuário adquire o produto e o utiliza até que torne-se obsoleto ou não atenda mais suas necessidades; (ii) o produto é transferido/doado para um segundo usuário ou é armazenado para um uso eventual; (iii) o produto é destinado para reciclagem, reparo, reutilização de componentes ou utilizado como moeda de troca na compra de um novo produto; e (iv) o produto tem seu descarte final.

Sendo assim, o objetivo deste artigo é conhecer os modelos que foram utilizados para realizar previsões de demanda para resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, verificando quais as variáveis foram consideradas, que ferramentas foram utilizadas e quais as premissas e/ou restrições de cada modelo.

2 OS RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS (REEE)

A intensificação do uso da tecnologia acompanha as modificações na forma de viver da humanidade. Por exemplo, a telefonia no Brasil começou a ganhar forma com a criação da Embratel em 1967 e com a promulgação da Lei Geral das Telecomunicações em 1997. Entre 2003 e 2011 houve um incremento de 370% no número de acessos de telefonia móvel (FERRARI, 1998; ANATEL, 2013). A tecnologia está presente em áreas como: agricultura, medicina, indústrias, comércio, serviços, educação e nas residências, o que leva a ampliação do uso de equipamentos eletroeletrônicos nos dias atuais.

Durante a fabricação dos equipamentos eletroeletrônicos (EEE) são utilizados diversos componentes químicos, presentes nas matérias-primas, além de energia e água. As substâncias mais comumente encontradas, segundo Oliveira, Chiesi e Barbieri (2012), são resina epóxi, fibra de vidro, PCB (Bifenilas policloradas), PVC (cloreto de polivinila), chumbo, estanho, cobre, silício, berílio, carbono, ferro e alumínio. Outros componentes são encontrados em quantidades bastante reduzidas, como ouro, prata, titânio, arsênio, boro, cobalto, índio, lítio, manganês, selênio e platina.

Alguns destes elementos são metais pesados, que são bioacumuláveis, ou seja, se ingeridos, o organismo não consegue eliminá-los. Os riscos para os seres humanos que

manipulam, transportam ou armazenam resíduos com metais pesados vão desde doenças de pele até problemas no sistema nervoso e câncer, segundo Ferreira e Ferreira (2008). Em relação ao meio ambiente, estes resíduos podem contaminar o solo, a água e o ar, com metais pesados e fumaças tóxicas, além de representar um desperdício de recursos naturais não renováveis, uma vez que, se estes resíduos fossem reciclados, não haveria necessidade de extração de alguns metais, economizando as reservas naturais e energia que seria necessária para a extração (OLIVEIRA; CHIESI; BARBIEI, 2012).

Por este motivo, o Parlamento Europeu criou a diretiva RoHS (*Restriction of the Use of certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment*) que objetiva eliminar e/ou reduzir substâncias presentes nos EEE, como chumbo, cádmio, mercúrio, cromo e retardantes de chamas (PBB - bifenis polibromados - e PBDE - bifenis polibromados éteres). Estas restrições são obrigatórias para comercialização e produção de equipamentos na União Europeia e é necessário apresentar certificações comprovando o atendimento à RoHS, o que tem impacto no projeto e produção de equipamentos em vários países do mundo, inclusive no Brasil (EUROPEAN UNION, 2011).

Há necessidade de alterar os materiais e a produção dos EEE para atendimento da diretiva RoHS, criando novas formas de produção que visem reduzir a energia consumida durante o processo, minimizar as embalagens, maximizar o ciclo de vida dos produtos, utilizar materiais renováveis, recicláveis e menos agressivos ao meio ambiente. Com este propósito, Wang e Gupta (2001) apresentam materiais “verdes” que podem ser utilizados na fabricação de EEE, listando suas vantagens, desvantagens e impacto no meio ambiente. Estas informações estão no Quadro 2.1.

O descarte dos equipamentos eletroeletrônicos ocorre devido à sua obsolescência. Segundo Osibanjo, Nnorom e Ogbonna (2008), esta obsolescência pode ser: (i) por motivos técnicos, quando o produto não tem mais a funcionalidade desejada; (ii) pela inserção de novas tecnologias, oferecendo novos recursos e facilidades aos usuários; (iii) por questões estéticas, apresentando designs modernos e atraentes; (iv) por motivos psicológicos, relacionados ao valor emocional do produto. Franco (2008) e Leite (2009) acrescentam aos motivos de obsolescência a inviabilidade financeira do reparo, seja por falta de peças de reposição no mercado ou pela comparação do custo do reparo com o preço de novos produtos.

Quadro 2.1 - Materiais “verdes” para fabricação de EEE

Material (Exemplos)	Vantagens	Desvantagens	Meio Ambiente
Metais (ferro, alumínio, titânio).	Forte, durável, barato, moldável/manufaturável, muitas informações disponíveis sobre desempenho e design destes materiais.	Facilidade de corrosão, baixa resistência a peso.	Facilidade de reciclagem e separação, infraestrutura madura de recuperação destes materiais.
Cerâmica (porcelana, vidro mineral)	Não tóxico, duro, durável, não corrosivo, tolera altas temperaturas, muitas informações disponíveis sobre desempenho e design destes materiais.	Tendem a ser frágil / quebradiço e difícil de manufaturar.	Baixa toxicidade, infraestrutura limitada de recuperação e separação destes materiais.
Polímeros termoplásticos (acrílico, polipropileno)	Barato, leve, resistente, maleável, resistente à corrosão, muitas informações disponíveis sobre desempenho e design destes materiais.	Baixa resistência a peso e faixa limitada de temperatura para uso	Fácil reciclagem, tecnologia e infraestrutura de recuperação e separação em maturação
Polímeros termofixos (epóxi, poliuretano)	Barato, leve, muito maleável, fácil moldagem, resistente à corrosão e altas temperaturas, muitas informações disponíveis sobre desempenho e design destes materiais.	Baixa resistência a peso. Tóxico quando queimado.	Difícil de reciclar, infraestrutura pobre de recuperação e tecnologia de separação imatura.
Elastômeros (isoprene, neoprene)	Barato, leve, extremamente maleável, resistente à corrosão e impacto, informações suficientes sobre desempenho e design destes materiais.	Baixa resistência a peso e faixa limitada de temperatura para uso	Difícil de reciclar, infraestrutura limitada de recuperação e tecnologia de separação imatura.
Orgânico (madeira, bambu, algodão)	Barato, leve, durável, forte, renovável, manufaturável, muitas informações disponíveis sobre desempenho e design destes materiais.	Baixa resistência a peso.	Fácil decomposição e pode ser queimado.
Outros compostos (poliéster, fibra de vidro)	Alta resistência a peso e à corrosão. Bons conhecimentos de seu desempenho e design.	Custo alto de produção, dificuldade de prever propriedades durante processamento	Infraestrutura de reciclagem e separação imaturas.

Fonte: Adaptado de Wang e Gupta (2001)

Após serem utilizados pelos consumidores, os equipamentos eletroeletrônicos podem ser reutilizados, doados, reciclados ou descartados. Hagelüken e Corti (2010) afirmam que a concentração de ouro em celulares fica entre 300 e 350 gramas/tonelada e este dado justificaria o processo de reciclagem e retorno da matéria prima aos processos produtivos.

O Brasil instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) pela Lei nº 12.305 em 2 de agosto de 2010. A PNRS, em seu artigo 33, determina a obrigatoriedade da instituição da logística reversa para produtos eletroeletrônicos e seus componentes, sendo que a responsabilidade por assegurar a implantação e a operacionalização deste sistema é dos

fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes destes equipamentos (BRASIL, 2010).

Logística reversa é um sistema (ações, procedimentos e meios) que tem por objetivo possibilitar o retorno de bens ou de seus materiais constituintes ao ciclo produtivo para reaproveitamento ou destinação adequada (BRASIL, 2010; LEITE, 2009). Gutiérrez *et al.* (2010) salienta que as metas mais importantes da logística reversa dependem, na prática, dos hábitos de descarte dos consumidores. Outro aspecto importante para a logística reversa é obter estimativas confiáveis da quantidade de resíduos gerados e utilizar métodos robustos de previsão, afirmam Potdar e Rogers (2012).

3 PREVISÃO DE DEMANDA

Realizar uma previsão é fazer um prognóstico de eventos futuros, segundo Abraham e Ledolter (2013). As organizações, por exemplo, utilizam as previsões para identificar possíveis problemas e/ou demandas, dimensionar sua produção, traçar planos de ação e tomar decisões em todas as áreas da empresa embasadas nestas informações (KRAJEWSKI, RITZMAN E MALHOTRA, 2009).

Historicamente, no final dos anos 1930, já eram conhecidos alguns métodos de previsão de demanda como o método dos mínimos quadrados, as médias móveis, a decomposição de séries temporais e a regressão (MAKRIDAKIS, 1986). Após a 2ª guerra mundial, houve grandes avanços teóricos e práticos nas previsões em várias áreas, como o desenvolvimento de modelos econométricos, modelos ARIMA usados para modelagem de séries temporais, técnicas de decomposição de componentes macroeconômicos das séries temporais, métodos de filtros de ruídos e método da suavização exponencial usados para prever demanda e produção. Nos anos 1970, com o auxílio de computadores, as previsões se popularizaram.

Os métodos de previsão podem ser qualitativos, quantitativos ou a combinação destes (ARMSTRONG, 2001). Os modelos qualitativos baseiam-se no julgamento humano e são subjetivos, mas podem ser úteis quando não existem dados históricos adequados ou no lançamento de novos produtos. Peinado e Graeml (2007) afirmam que estes métodos geralmente dependem de especialistas com experiência na área estudada e precisam ser bem

estruturados para que não sejam privilegiadas informações de pessoas mais extrovertidas ou que ocupem cargos de mais alta hierarquia, por exemplo. O método Delphi, os grupos focados e as pesquisas de mercado são exemplos de métodos qualitativos.

Os métodos quantitativos envolvem modelos matemáticos e dados, podendo ser classificados em modelos causais ou de séries temporais (MORETTIN; TOLOI, 2004). A vantagem destes métodos é a possibilidade de estimar os erros, dando subsídios para seleção dos melhores métodos para cada situação. Entretanto é preciso conhecer o comportamento dos dados no passado, o que pode não ser aplicável em algumas situações. Como exemplo de métodos quantitativos pode-se citar: modelos de suavização exponencial, regressão linear e modelos auto regressivos de médias móveis. Para escolha do modelo deve ser considerado o conhecimento do comportamento da demanda em análise e as características dos dados como sazonalidade, tendência e aleatoriedade.

Já a combinação de métodos qualitativos e/ou quantitativos é uma alternativa para gerar previsões com maior acurácia, conforme Costantine e Pappalardo (2010). Este ganho de acurácia, segundo Armstrong (2001), ocorre, pois a combinação de previsões incorpora as diversas características captadas nas diferentes previsões individuais. Entre os pesquisadores que estudam a previsão de demanda existe um contínuo interesse pela aplicação de modelos matemáticos aliados ao julgamento humano. Aparentemente, muitas são as razões para tal, mas o importante é o desejo de incorporar mais conhecimento, referente ao ambiente de previsão, na própria previsão.

4 METODOLOGIA

Este artigo é uma revisão sistemática. Segundo a Moher *et al.* (2009), uma revisão sistemática tem uma questão de pesquisa claramente definida e usa um método sistemático para identificar, selecionar e avaliar criticamente os estudos incluídos nesta revisão. Este artigo adota as recomendações do PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*) e o *checklist* proposto encontra-se no Apêndice 2A (MOHER *et al.*, 2009).

O objetivo desta revisão sistemática é conhecer os modelos que foram utilizados para realizar previsões de demanda para REEE, mais especificamente busca-se verificar quais

as variáveis consideradas, as ferramentas utilizadas e as premissas e/ou restrições de cada modelo. Logo, a questão de pesquisa utilizada nesta revisão sistemática foi: “Como foram realizadas as previsões de geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos?”.

Buscando responder esta questão foram escolhidas palavras-chave relacionadas com previsão de demanda e resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE). Foram considerados os termos em inglês *forecasting* e os sinônimos de REEE: *electronic waste*, *e-waste* e *WEEE (Waste electric and electronic equipment)*. Foi utilizada para busca nas bases de dados a lógica: *[("electronic waste") OR WEEE OR ("e-waste")] AND forecasting*.

As bases de dados selecionadas contemplam periódicos das áreas de engenharia, estatística ou meio ambiente. As palavras-chave foram pesquisadas em cinco bases: *Science Direct*, *ProQuest*, *Scopus*, *Emerald* e *ISI Web of Science*. O idioma adotado foi o inglês e os artigos deveriam estar publicados em periódicos científicos. Foram rejeitadas as teses e dissertações por considerar que estes trabalhos, em geral, são publicados em periódicos após sua aprovação. Como exemplo, a figura 2.1 apresenta a estratégia de busca na base de dados *Science Direct*, utilizando a lógica de busca descrita anteriormente.

The image shows the ScienceDirect search interface. At the top, there is a green header with the ScienceDirect logo and navigation links for 'Journals' and 'Books'. Below the header, there are search input fields for 'Search all fields', 'Author name', 'Journal or book title', 'Volume', and 'Issue'. The main search area is titled 'All Journals Books Reference Works' and includes an 'Advanced search' link. The search criteria are defined as follows:

- Search for:** "electronic waste" OR "WEEE" OR "e-waste" in All Fields
- AND:** forecasting in All Fields

 Under 'Refine your search', there are several options:

- Open Access articles only
- Engineering** (selected), Environmental Science, Immunology and Microbiology, Linguistics
- Article, Short Communication, Book Review, Publisher's Note
- Review Article, Correspondence, Letter, Product Review, Erratum
- Short Survey, Discussion, Editorial
- All Years, 2005 to Present
- Volume: [], Issue: [], Page: []

 A 'Search' button is located at the bottom of the search area.

Figura 2.1 - Estratégia de busca na base de dados Science Direct

A figura 2.2 mostra o fluxo de informações da revisão sistemática, utilizando como base o modelo proposto por Moher (2009) que apresenta quatro fases: identificação, triagem, elegibilidade e inclusão. Nas buscas realizadas nas bases de dados entre junho e agosto de 2012, e atualizadas em fevereiro de 2015, foram encontrados 892 artigos.

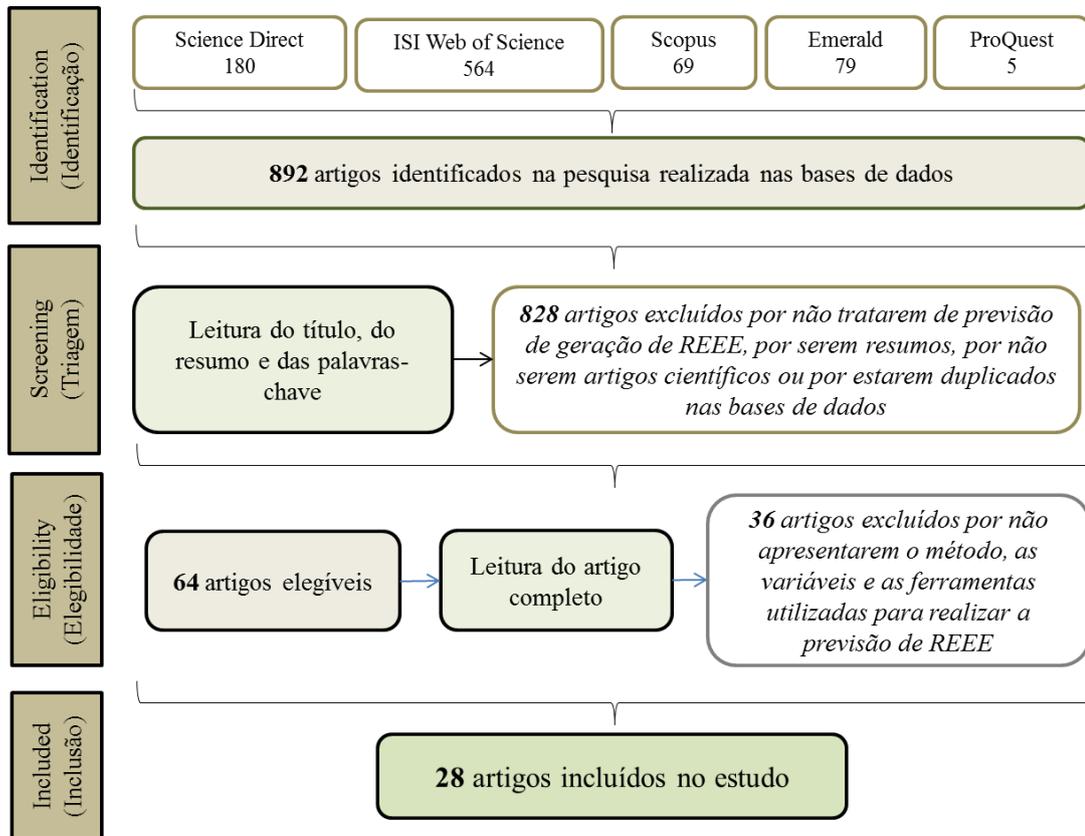


Figura 2.2 – Fluxo de informações da revisão sistemática

Na fase da triagem, foram avaliados o título, as palavras-chave e o resumo dos artigos encontrados. Foram excluídos nesta fase os trabalhos apresentados em congressos, teses e dissertações, resumos e outras publicações não científicas. Também foram excluídos artigos que não tratavam de previsões de geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, como, por exemplo, o artigo *Environmental issues and management strategies for waste electronic and electrical equipment* (HIDY *et al.*, 2011), da base de dados Scopus, publicado no *Journal of the Air and Waste Management Association*. Além disso, foi verificado se o artigo constava em mais de uma base de dados, sendo considerado apenas uma vez na listagem final. Após a etapa da triagem restaram 64 artigos.

O passo seguinte foi a leitura integral de cada um dos 64 artigos para identificar os trabalhos que realmente apresentavam uma descrição detalhada do método de previsão da geração de REEE, não somente resultados obtidos de terceiros. Por este motivo, nesta fase foram excluídos artigos como *Forecasting product returns in closed-loop supply chains* (KRAPP; NEBEL; SAHAMIE, 2013), da base de dados Emerald. Após esta análise restaram 28 artigos.

Dos 28 artigos selecionados para aprofundamento da análise foram coletadas informações como dados dos autores, país onde o estudo foi realizado, periódico onde artigo foi publicado, métodos, ferramentas utilizadas, variáveis consideradas no estudo e também informações adicionais julgadas relevantes. Com estes dados foram elaborados gráficos e tabelas que permitem a análise dos resultados encontrados.

5 RESULTADOS

Após a etapa de seleção dos artigos os dados foram organizados e analisados. A figura 2.3 mostra que o assunto ainda é incipiente e que o número de trabalhos é muito diversificado ao longo dos anos.



Figura 2.3 – Ano de publicação dos artigos selecionados

Destes 28 trabalhos, 8 foram realizados nos Estados Unidos e 5 na China, o que representa quase metade de todos os artigos selecionados e mostra que estes dois países possuem pesquisas e atuam nesta área. A tabela 2.1 apresenta o número de artigos por país e continente, mostrando a maior concentração dos estudos na Ásia e América, embora a Europa tenha sido pioneira em legislação para tratamento de REEE. A Turquia foi considerada um país da Europa, mas tem parte de seu território também na Ásia.

Tabela 2.1 - Dados sobre continente e países onde foram realizados os estudos avaliados

Continente	País do estudo	Nº estudos	Total	%
Europa	Alemanha	1	6	21%
	Escócia	1		
	Espanha	1		
	Inglaterra	1		
	República Checa	1		
	Turquia	1		
Américas	Brasil	1	10	36%
	Canadá	1		
	Estados Unidos	8		
Ásia	China	5	11	39%
	Coréia do Sul	1		
	Índia	3		
	Irã	1		
	Vietnã	1		
África	Nigéria	1	1	4%

O periódico onde foram encontrados 9 dos 28 artigos selecionados foi o *Waste Management*, mostrando que mais de 30% dos artigos selecionados foi publicado neste periódico. A tabela 2.2 mostra a concentração de estudos sobre o tema em poucos periódicos, sendo que 57,1% dos estudos selecionados foram publicados em três periódicos.

Tabela 2.2 - Periódicos onde foram publicados os artigos selecionados

Periódico	Nº de artigos	% de artigos
Waste Management	9	32,1
Resources, Conservation and Recycling	4	14,3
Waste Management & Research	3	10,7
Journal of Material Cycles and Waste Management	2	7,1
Environmental Science & Technology	2	7,1
Journal of Hazardous Materials	1	3,6
Journal of Environmental Management	1	3,6
Energy Policy	1	3,6
Canadian Journal of Administrative Sciences	1	3,6
Technological Forecasting and Social Change	1	3,6
Journal of Enterprise Information Management	1	3,6
Journal of Advances in Management Research	1	3,6
Foresight	1	3,6

Os resíduos gerados pelos computadores são preocupação na maioria dos trabalhos avaliados, pois ele foi considerado em pesquisas residenciais, universitárias e

comerciais. Os televisores também foram objetos de mais da metade dos artigos avaliados, sendo que alguns focaram somente neste equipamento devido à alteração do sistema de transmissão de analógico para digital já realizado em alguns países. A tabela 2.3 mostra o número de artigos para cada tipo de equipamento, salientando que alguns artigos realizaram a previsão para mais de um equipamento.

Tabela 2.3 - Número de artigos que contemplam previsões de resíduos por tipo de EEE

Equipamento Eletroeletrônico	Nº de artigos	% de artigos
Computador	18	64,3%
Televisor	15	53,6%
Geladeira	10	35,7%
Máquina de lavar roupa	9	32,1%
Ar condicionado	8	28,6%
Telefone celular	8	28,6%
Freezer, microondas e ferro de passar	2	7,1%
Impressora, câmeras fotográficas, fax, filmadora	3	10,7%
Genérico	2	7,1%

Em 8 artigos, um dos métodos utilizados para levantamento de dados foi o *survey*. Nestes *surveys* a ideia era obter dados sobre consumidores, como, por exemplo, quais equipamentos possuíam em sua residência e qual o tempo de uso destes equipamentos, para poder estimar o tempo de vida útil destes equipamentos e também investigar qual a destinação que será dada após a sua obsolescência. Na maioria dos artigos pesquisados foram utilizados dados de fontes secundárias, como institutos de pesquisa, associações de fabricantes, órgãos governamentais e dados constantes em pesquisas de outros autores.

As variáveis utilizadas foram separadas em grupos conforme suas similaridades, sendo verificada a frequência em que foram utilizadas nos artigos. As mais utilizadas foram as que se referem a dados comerciais de produtos eletroeletrônicos, que incluem dados de vendas, produção, exportação e importação. Estas variáveis foram utilizadas em 20 dos 28 artigos. Dados sobre a destinação dos equipamentos após o uso, como % destinado à reciclagem ou % armazenado em casa, foram utilizados em 16 artigos, bem como estimativa de vida útil destes equipamentos. A tabela 2.4 detalha as variáveis utilizadas nos artigos selecionados.

Tabela 2.4 - Quantidade de artigos que utilizou cada tipo de variável independente

Tipo de dados / variáveis utilizados	Nº de artigos	% de artigos
Dados de comércio de equipamentos (produção, venda, importações, exportações, taxas de crescimento)	20	71,4%
Ação aplicada após uso, tempos ou probabilidades (descarte, reuso, doação, reciclagem, venda)	16	57,1%
Vida útil média dos equipamentos / probabilidade ou tempo de utilização	16	57,1%
Dados dos equipamentos em uso (quantidade, tipo, peso)	11	39,3%
Dados dos consumidores (idade, educação, financeira...)	8	28,6%
Outros	4	14,3%

A Unidade, que representa a quantidade de equipamentos não mais utilizados e que tornaram-se resíduos, foi a variável dependente utilizada em 18 dos 28 artigos analisados. Além disso, alguns trabalhos utilizaram unidades derivadas, como Unidades per capita ou unidades/ano. A tabela 2.5 apresenta as informações sobre as variáveis respostas agrupadas conforme similaridade, salientando que alguns artigos apresentam resultados com mais de uma variável resposta e que a variável “Tempo” refere-se ao tempo que o equipamento leva para tornar-se obsoleto ou ser descartado.

Tabela 2.5 - Variável resposta para a previsão de geração de REEE

Variável resposta	Nº de artigos	% de artigos
Unidades; Unidades per capita; Unidades / ano	20	71,4%
Peso; Peso per capita; Peso / ano	10	35,7%
Tempo	4	14,3%
% retorno ; % reciclado	3	10,7%
Custo (\$) / ano	1	3,6%

Em relação aos métodos e ferramentas utilizados para realizar as previsões de geração de REEE, percebe-se que, em 8 dos 28 artigos, o método utilizado para previsão desta demanda foi a Regressão, simples ou logística. O método *Material Flow Analysis* (MFA), que consiste em descrever, investigar e avaliar as mudanças que ocorrem em sistemas segundo Brunner e Rechberger (2005), foi utilizado em 6 artigos, considerando as mudanças (entradas

e saídas) que ocorrem nos sistemas de estoque de determinado EEE ao longo do tempo. Estes dois métodos foram utilizados em 14 artigos, representando 50% dos artigos selecionados.

Em seis artigos foi utilizada a simulação como método principal ou secundário. Um artigo citou a simulação de Monte Carlo e os demais apenas comentam que simularam alguns cenários e os descreveram. Salienta-se que dois artigos apresentaram fórmulas específicas para cálculo da previsão, relacionando dados comerciais dos EEE, vida útil e informações dos consumidores, e que outro artigo utilizou também metas do governo para reciclagem. Os demais artigos utilizaram ferramentas estatísticas descritivas para realizar a previsão ou outras técnicas como Código da Razão de Retorno e Lógica Fuzzi.

Em relação à distribuição de probabilidades, sete artigos citaram a utilização de algum modelo de probabilidades para destinação dos resíduos, destacando-se o modelo de distribuição de Weibull, utilizada em quatro artigos. A análise de sensibilidade foi realizada em oito artigos.

A maioria dos artigos não informou se utilizou algum software específico, mas o Matlab® foi citado em dois artigos, enquanto o Visual Basic (Excel®), o SPSS®, o Excel® e o Stata® 9.1 foram citados em um artigo cada. A tabela completa com os dados levantados na pesquisa encontra-se no apêndice 2B.

6 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Observando os dados levantados nos artigos selecionados nota-se que não há consenso a respeito das variáveis, métodos e ferramentas que devem ser utilizados para determinação da quantidade de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. Existem predominâncias.

Em relação às variáveis independentes, muitos trabalhos optaram por buscar dados históricos sobre vendas e quantidade de equipamentos existentes nas residências, bem como utilizar estimativas de tempo de uso e reuso que constassem em documentos de instituições de pesquisa ou órgãos governamentais. Dwivedy e Mittal (2010a) afirmam que as estimativas são fortemente afetadas por dados das vendas e pelas decisões do primeiro usuário ao final da vida útil do equipamento. Já Leigh *et al.* (2007) consideram que informações sobre

a vida útil do produto, taxa de descarte, volume e distribuição geográfica dos resíduos gerados são importantes, mas normalmente não são coletados sistematicamente.

Já em relação à variável resposta para a previsão de demanda de REEE, considerando dados apresentados na Tabela 5, parece viável utilizar em estudos futuros o número de equipamentos que tornam-se REEE em um determinado período e localidade.

Dados como a vida útil do equipamento podem variar de país ou região, pois tem natureza subjetiva, segundo Dwivedy e Mittal (2010b), o que torna interessante a realização de *surveys* para conhecer o comportamento dos consumidores a respeito dos REEE e buscar conhecer o caminho e o tempo que o equipamento leva até ser descartado ou encaminhado para reciclagem. Entretanto, *surveys* de grande escala são caros e demandam tempo para realização (LEIGH *et al.*, 2007).

Em relação aos métodos, percebe-se que a Análise de Regressão e/ou o MFA, em conjunto com a simulação de cenários, pode ser um caminho para fazer estimativas representativas para a geração de REEE. As ferramentas estatísticas são essenciais e devem ser exploradas, da mesma forma que a utilização de softwares estatísticos para previsões e simulações. Potdar e Rogers (2012) reforçam a necessidade de métodos robustos para realizar previsões acuradas. Parece viável utilizar combinações de previsão de demanda para estimar a geração deste tipo de resíduo, como realizado por Rahmania *et al.* (2014), que utilizou dados de fontes secundárias, entrevistou em torno de 1000 pessoas para estimar a vida útil dos equipamentos e utilizou modelos de séries temporais para estimar a quantidade de televisores e celulares que tornaram-se obsoletos.

Como parece existir diferença de comportamento das pessoas em relação a eletroeletrônicos de grande porte, como geladeiras, máquinas de lavar e televisores, é viável pensar em modelos distintos para cada tipo de equipamento, similarmente ao realizado por Araújo *et al.* (2012) e Gutiérrez *et al.* (2010). Uma ideia para trabalho futuro é criar modelos específicos para cada linha de produtos, considerando dados sobre o consumidor brasileiro e permitindo que sejam feitas adaptações por tipo de equipamento e por região do país em estudo.

Outro ponto interessante para avaliar no futuro é como as empresas irão se organizar para atender a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil, aprovada em 2010, e que exige a instituição da logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos. Para implantação da Logística Reversa é importante ter ideia do montante de equipamentos que são

descartados e quando ele será descartado, para que seja possível determinar a infraestrutura necessária para este sistema, conforme ressaltam Kang e Schoenung (2006).

REFERÊNCIAS

ABRAHAM, B. & LEDOLTER, J. **Statistical Methods for Forecasting**. Wiley-Interscience, 2013.

AGRAWAL, S.; SINGH, R. K.; MURTAZA. Q. Forecasting product returns for recycling in Indian electronics industry. **Journal of Advances in Management Research**, v.11, n.1, p. 102–114, 2014.

AGUIAR, B.M.M.; MELO, K.K.P.; AGUIAR, A.V.M.; SILVA, R.M.; MARACAJÁ, P.B. Resíduos Eletrônicos no município de Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v.4, n.1, p.74-78, jan/dez 2010.

ANATEL. **Números do Setor**. Disponível em: <<http://anatel.gov.br>>. Acesso em: 7 jan 2013.

ARAÚJO, M.G.; MAGRINI, A.; MAHLER, C.F.; BILITEWSKI, B. A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil. **Waste Management**, v.32, p.335–342, 2012.

ARMSTRONG, J. S. **Principles of forecasting: a handbook for researchers and practitioners**. Norwel/MA: Kluwer Academic Publishers, 2001.

BABBITT, C.W.; KAHHAT, R.; WILLIAMS, E.; BABBITT,G.A. Evolution of Product Lifespan and Implications for Environmental Assessment and Management: A Case Study of Personal Computers in Higher Education. **Environmental Science & Technology**, v.43, n.13, p.5106–5112, 2009.

BRASIL. **Lei nº 12.305 - Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2010.

BRUNNER, P.H.; RECHBERGER, H. **Practical handbook of material flow analysis**. New York: Taylor & Francis, 2005. ISBN 1-5667-0604-1

COSTANTINE, C.; PAPPALARDO, C. A hierarchical procedure for combination of forecasts. **International journal of forecasting**, v.26, p. 725-743, 2010.

DWIVEDY M.; MITTAL R. K. Estimation of future outflows of e-waste in India. **Waste Management**, v.30, p. 483–491, 2010(a).

_____ Future trends in computer waste generation in India. **Waste Management**, v.30, p. 2265-2277, 2010(b).

EUROPEAN UNION, 2011. **Directive 2011/65/EU** - Restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (Recast). Disponível em: <www.eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32011L0065>

EUROPEAN UNION, 2012. **Directive 2012/19/EU** - Waste Electrical and Electronic equipment (WEEE) (Recast). Disponível em: <www.eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32012L0019>

FERRARI, A. M. **Telecomunicações: Evolução & Revolução**. 2ª ed. São Paulo: Érica, 1998.

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

FESZTY, K.; MURCHISON, C.; BAIRD, J.; JAMNEJAD, G. Assessment of the quantities of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) in Scotland. **Waste Management & Research**. V. 21, p. 207-217, 2003

FRANCO, R. G.P.; LANGE, L.C. Estimativa do fluxo de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. **Eng. Sanitária e Ambiental**, v.16, n.1, p. 73-82, jan-mar 2011.

FRANCO, R.G.F. **Protocolo de referência para Gestão de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos domésticos para o município de Belo Horizonte/MG**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais(UFMG). Belo Horizonte, 2008.

GUTIERREZ, E.; ADENSO-DIAZ, B.; LOZANO, S.; GONZALEZ-TORRE, P. A competing risks approach for time estimation of household WEEE disposal. **Waste Management**, v.30, p. 1643–1652, 2010.

HABUER; NAKATANI, J.; MORIGUCHI, Y. Time-series product and substance flow analyses of end-of-life electrical and electronic equipment in China. **Waste Management**, v.34, p. 489–497, 2014.

HAGELÜKEN, C.; CORTI, C. Recycling of gold from electronics: cost effective use through ‘Design for Recycling’. **Gold Bull**, v.43, n.3, p. 209–220, 2010.

HIDY, G.M.; ALCORN, W.; CLARKE, R.; SMITH, D.; THOMAS, V. Environmental issues and management strategies for waste electronic and electrical equipment. **Journal of the Air and Waste Management Association**, v.61, n.10, p. 990-995, 2011.

IBGE. **Síntese de indicadores 2013**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2013/sintese_defaultxls.shtm>. Acesso em: 14 jan 2015.

KANG H.Y.; SCHOENUNG J.M. Estimation of future outflows and infrastructure needed to recycle personal computer systems in California. **Journal of Hazardous Materials**, v. B137, p. 1165–1174, 2006.

KRAJEWSKI, L.; RITZMAN, L.; MALHOTRA, M. **Administração de Produção e Operações**. 8ª ed. São Paulo: Pearson, 2009.

KRAPP, M.; NEBEL, J.; SAHAMIE, R. Forecasting product returns in closed-loop supply Chains. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v.43, n.8, p. 614–637, 2013.

LEE, J.C.; SONG, H.T.; YOO, J.M. Present status of the recycling of waste electrical and electronic equipment in Korea. **Resources, Conservation and Recycling**, v.50, p. 380–397, 2007.

LEIGH, N.G.; REALFF, M.J.; AI N.; FRENCH, S. P.; ROSS, C. R. ;BRAS, B. Modeling obsolete computer stock under regional data constraints: An Atlanta case study. **Resources, Conservation and Recycling**, v.51, p. 847–869, 2007.

LEITE, P.R. **Logística Reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LI, J., TIAN, B., LIU, T., LIU, H., WEN, X., HONDA, S. Status quo of e-waste management in mainland China. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v.8, p. 13-20, 2006.

LINTON, J.D., YEOMANS, J.S., YOOGALINGAM, R. Enabling industrial ecology through the forecasting of durable goods disposal: Televisions as an exemplar case study. **Canadian Journal of Administrative Sciences**, v.21, n.2, p. 190-207, 2004.

LIU, X. B.; TANAKA, M.; MATSUI, Y. Generation amount prediction and material flow analysis of electronic waste: a case study in Beijing, China. **Waste Management & Research**, v.24, p. 434-445, 2006.

MAKRIDAKIS, S. The art and Science of forecasting: an assessmet and future direction. **International Journal of forecasting**, v.2, p.15-39, 1986.

MOHER D, LIBERATI A, TETZLAFF J, ALTMAN DG, THE PRISMA GROUP. **Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement**. PLoS Med 6(6): e1000097. DOI:10.1371/journal.pmed1000097. 2009.

MORETTIN, P.A.; TOLOI, C.M. **Análise de Séries Temporais**. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 2004.

NGUYEN, D.Q.; YAMASUE, E.; OKUMURA, H.; ISHIHARA, K.N. Use and disposal of large home electronic appliances in Vietnam. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v.11, p. 358–366, 2009.

OLIVEIRA, L.H.; CHIESI, F.K.;BARBIERI, J.C. Manufatura reversa e gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos: o Caso da Oxil. In: XXIII Encontro Nacional dos Cursos de Graduação em Administração (ENANGRAD). **Anais...** Bento Gonçalves, 2012. Disponível em: <<http://xxiiienangrad.enangrad.org.br/anaisenangrad/artigos/gds.html>>.

ONGONDO, F.O., WILLIAMS, I.D., KEYNES, S. Estimating the impact of the "digital switchover" on disposal of WEEE at household waste recycling centers in England. **Waste Management**, v.31, p. 743–753, 2011.

OSIBANJO, O.; NNOROM, I.C.; OGBONNA, K.C. Modelling waste generation by the telecom sector in Nigeria: the grey side of the impressive outing. **Waste Management & Research**, v.26, p. 317-326, 2008.

PADILHA, A.C.M.; QUADROS, V.D.; MATTOS, P.; RODRIGUES, R.G. A equação tecnologia e a gestão de resíduos sólidos: uma análise do descarte de telefones celulares no município de Carazinho-RS. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v.3, n.1, p. 01-12, jan/dez 2009.

PEINADO, J.; GRAEML, A.R. **Administração da produção** (Operações industriais e de serviços). Curitiba: UnicenP, 2007.

POLÁK, M.; DRÁPALOVÁ, L. Estimation of end of life mobile phones generation: The case study of the Czech Republic. **Waste Management**, v.32, p. 1583–1591, 2012.

POTDAR, A.; ROGERS, J. Reason-code based model to forecast product returns. **Foresight**, v.14, n.2, p. 105–120, 2012.

RAHMANIA, M.; NABIZADEHB, R.; YAGHMAEIANA, K.; MAHVIA, A. H.; YUNESIANB, M. Estimation of waste from computers and mobile phones in Iran. **Resources, Conservation and Recycling**, v.87, p. 21–29, 2014.

SAPHORES J.D.M.; NIXON H.; OGUNSEITAN, O.A.; SHAPIRO, A.A. How much e-waste is there in US basements and attics? Results from a national survey. **Journal of Environmental Management**, v.90, p. 3322–3331, 2009.

SCHUMACHER, K.A.; SCHUMACHER, T.; AGBEMABIESE, L. Quantification and probabilistic modeling of CRT obsolescence for the State of Delaware. **Waste Management**, v.34, p. 2321–2326, 2014.

TELECO. **Estatísticas de Domicílios Brasileiros** (IBGE - PNAD). Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/pnad.asp>>. Acesso em: 14 jan 2015.

TEMUR, G. I. T.; BALCILAR, M.; BOLAT, B. A fuzzy expert system design for forecasting return quantity in reverse logistics network. **Journal of Enterprise Information Management**, v.27, n.3, p. 316–328, 2014.

US EPA. **Fact Sheet: Management of Electronic Waste in the US - 2008**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/osw/conservation/materials/ecycling/docs/fact7-08.pdf>>. Acesso em: 17 set 2012.

WALK, W. Forecasting quantities of disused household CRT appliances - A regional case study approach and its application to Baden-Württemberg. **Waste Management**, v.29, p. 945–951, 2009.

WANG, Hsiao-Fan; GUPTA, Surendra M. **Green Supply Chain Management Product Life Cycle Approach**. Columbus: McGrawHill, 2001.

YANG, Y.; WILLIAMS, E. Logistic model-based forecast of sales and generation of obsolete computers in the USA. **Technological Forecasting and Social Change**, v.76, p. 1105–1114, 2009.

YU, J., WILLIAMS, E., JU, M. Analysis of material and energy consumption of mobile phones in China. **Energy Policy**, v.38, p. 4135–4141, 2010.

YU, J.L.; WILLIAMS, E.; JU, M.T.; YANG, Y. Forecasting Global Generation of Obsolete Personal Computers. **Environmental Science & Technology**, v.44, n. 9, p. 3232–3237, 2010.

ZHANG, L., YUAN, Z., BI, J. Predicting future quantities of obsolete household appliances in Nanjing by a stock-based model. **Resources, Conservation and Recycling**, v.55, p. 1087–1094, 2011.

APÊNDICE 2A - CHECKLIST

Section/topic	#	Checklist item	Reported on page #
TITLE			
Title	1	Identify the report as a systematic review, meta-analysis, or both.	27
ABSTRACT			
Structured summary	2	Provide a structured summary including, as applicable: background; objectives; data sources; study eligibility criteria, participants, and interventions; study appraisal and synthesis methods; results; limitations; conclusions and implications of key findings; systematic review registration number.	28
INTRODUCTION			
Rationale	3	Describe the rationale for the review in the context of what is already known.	35
Objectives	4	Provide an explicit statement of questions being addressed with reference to participants, interventions, comparisons, outcomes, and study design (PICOS).	35
METHODS			
Protocol and registration	5	Indicate if a review protocol exists, if and where it can be accessed (e.g., Web address), and, if available, provide registration information including registration number.	48
Eligibility criteria	6	Specify study characteristics (e.g., PICOS, length of follow-up) and report characteristics (e.g., years considered, language, publication status) used as criteria for eligibility, giving rationale.	35
Information sources	7	Describe all information sources (e.g., databases with dates of coverage, contact with study authors to identify additional studies) in the search and date last searched.	35
Search	8	Present full electronic search strategy for at least one database, including any limits used, such that it could be repeated.	35
Study selection	9	State the process for selecting studies (i.e., screening, eligibility, included in systematic review, and, if applicable, included in the meta-analysis).	36 - 37

Data collection process	10	Describe method of data extraction from reports (e.g., piloted forms, independently, in duplicate) and any processes for obtaining and confirming data from investigators.	36 - 37
Data items	11	List and define all variables for which data were sought (e.g., PICOS, funding sources) and any assumptions and simplifications made.	36 - 37
Risk of bias in individual studies	12	Describe methods used for assessing risk of bias of individual studies (including specification of whether this was done at the study or outcome level), and how this information is to be used in any data synthesis.	36 - 37
Summary measures	13	State the principal summary measures (e.g., risk ratio, difference in means).	36 - 37
Synthesis of results	14	Describe the methods of handling data and combining results of studies, if done, including measures of consistency (e.g., I^2) for each meta-analysis.	36 - 37
Risk of bias across studies	15	Specify any assessment of risk of bias that may affect the cumulative evidence (e.g., publication bias, selective reporting within studies).	NA
Additional analyses	16	Describe methods of additional analyses (e.g., sensitivity or subgroup analyses, meta-regression), if done, indicating which were pre-specified.	NA
RESULTS			
Study selection	17	Give numbers of studies screened, assessed for eligibility, and included in the review, with reasons for exclusions at each stage, ideally with a flow diagram.	36
Study characteristics	18	For each study, present characteristics for which data were extracted (e.g., study size, PICOS, follow-up period) and provide the citations.	51-55
Risk of bias within studies	19	Present data on risk of bias of each study and, if available, any outcome level assessment (see item 12).	NA
Results of individual studies	20	For all outcomes considered (benefits or harms), present, for each study: (a) simple summary data for each intervention group (b) effect estimates and confidence intervals, ideally with a forest plot.	51-55
Synthesis of results	21	Present results of each meta-analysis done, including confidence intervals and measures of consistency.	NA
Risk of bias across studies	22	Present results of any assessment of risk of bias across studies (see Item 15).	NA
Additional analysis	23	Give results of additional analyses, if done (e.g., sensitivity or subgroup analyses, meta-regression [see Item 16]).	NA
DISCUSSION			

Summary of evidence	24	Summarize the main findings including the strength of evidence for each main outcome; consider their relevance to key groups (e.g., healthcare providers, users, and policy makers).	41-42
Limitations	25	Discuss limitations at study and outcome level (e.g., risk of bias), and at review-level (e.g., incomplete retrieval of identified research, reporting bias).	37-41
Conclusions	26	Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence, and implications for future research.	41-42
FUNDING			
Funding	27	Describe sources of funding for the systematic review and other support (e.g., supply of data); role of funders for the systematic review.	NA

From: Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. PLoS Med 6(6): e1000097. doi:10.1371/journal.pmed1000097 For more information, visit: www.prisma-statement.org.

NA = NÃO APLICÁVEL

APÊNDICE 2B – LEVANTAMENTO DE DADOS

Nº	Título	Ano	Autores	País	Periódico	Base de Dados	Tipo de estudo	Descrição da pesquisa	Variáveis consideradas	Variável resposta	Método/ Ferramenta utilizada	Observações
1	A competing risks approach for time estimation of household WEEE disposal	2010	Gutierrez, E.; Adenso-Diaz, B.; Lozano, S.; Gonzalez-Torre, P.	Espanha	Waste Management	ISI - Web of knowledge	Survey com consumidores	Pesquisa para descobrir hábitos de consumo e reciclagem de equipamentos elétricos/eletrônicos (TV, geladeira, microondas e ferro de passar roupa) em 1537 residências da Espanha.	Tamanho e localização das residências, composição e nível educacional das pessoas na residência, número de equipamentos, tempo de uso dos equipamentos, tempo de armazenamento após uso, ação aplicada após uso do equipamento	Tempo (anos)	Metodologia CR-AS (múltiplas durações), ferramentas estatísticas (média, frequência, frequência acumulada), regressões, testes estatísticos (Mantel-Haenszel, Peto-Peto, Kruskal-Wallis)	Não informa data da realização do survey. Tempo de vida útil e tempo para seu destino final (anos)
2	A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil	2012	Araujo, M.G.; Magrini, A.; Mahler, C.F.; Bilitewski, B.	Brasil	Waste Management	Science Direct e ISI - Web of knowledge	Teórico	Diferença de método de cálculo para mercados maduros (TV, geladeira, freezer, máquina de lavar, aparelhos de som) e imaturos (computadores e celulares). Usa dados de outras fontes como IBGE, ABINEE, UNEP e outros autores.	Vendas anuais, importações e exportações, número de equipamentos em uso, peso médio dos equipamentos, tempo de vida médio de cada equipamento	Peso (kg) / per capita / ano ou Peso (tonelada) / ano	Fórmulas específicas para mercado maduro e imaturo. Teste de sensibilidade (variação do tempo de vida dos equipamentos)	Estimativas de tempo de vida dos equipamentos existentes não são adequadas à realidade brasileira. Número de notebooks é relativamente pequeno em comparação com os desktops em uso em 2008.
3	Analysis of material and energy consumption of mobile phones in China	2010	Yu, J., Williams, E., Ju, M.	China	Energy Policy	Scopus	Teórico	Relaciona vendas e estoque para telefones celulares e utiliza dados de outras fontes como ITU e MIT e pesquisas de mercado de outros autores.	Vendas anuais, importações e exportações, número de equipamentos em uso	Unidades	Método MFA	Usa dados secundários
4	Assessment of the quantities of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) in Scotland	2003	Feszty, K.; Murchison, C.; Baird, J.; Jamnejad, G.	Escócia	Waste Management & Research	ISI - Web of knowledge	Survey com fabricantes, comerciantes, empresas de reciclagem e governo	Pesquisa para estimar WEEE da Escócia a partir de dados do Reino Unido para todas as categorias de equipamentos.	Questionário com 3 partes: - Dados do passado e do presente - Categoria equipamentos, total de vendas, total de itens coletados para reciclagem (projetado e real) - Questões adicionais	Peso (toneladas) / ano	Comparação de duas fontes de dados: questionário e dados estatísticos de 5 fontes diferentes e de uma pesquisa de mercado.	Foi considerada a proporção da população da Escócia em relação ao Reino Unido para adaptar os dados estatísticos disponíveis.
5	Enabling industrial ecology through the forecasting of durable goods disposal: Televisions as an exemplar case study	2004	Linton, J.D., Yeomans, J.S., Yoogalingam, R.	Canadá	Canadian Journal of Administrative Sciences	Scopus	Simulação	Artigo focado no ciclo de vida de televisores no Canadá	Taxa de descarte, probabilidade de falha do produto, probabilidade de obsolescência, probabilidade de reparo do produto, probabilidade de reutilização e de armazenamento	Peso (toneladas)	Utiliza 3 cenários para simulação - Monte Carlo	Considera que a entrada do sistema digital de televisão irá aumentar os resíduos eletrônicos provenientes de aparelhos obsoletos.
6	Estimating the impact of the "digital switchover" on disposal of WEEE at household waste recycling centres in England	2011	Ongondo, F.O.; Williams, I.D.; Keynes, S.	Inglaterra	Waste Management	ISI - Web of knowledge	Survey com consumidores e Simulação	Artigo focado em televisores considerando a entrada do sistema digital na Inglaterra. Survey com consumidores de Hampshire: questionários e entrevistas.	Dados dos consumidores como equipamentos atuais, possibilidade de troca para equipamento digital, destino que será dado ao equipamento antigo, dados sócio econômicos dos consumidores	Unidades e Peso (toneladas)	Utiliza 2 cenários para simulação e ferramentas estatísticas e testes de significância	Usa dados secundários. Avalia o impacto da introdução do sistema digital para o meio ambiente, para dimensionamento dos serviços do governo e logística.
7	Estimation of end of life mobile phones generation: The case study of the Czech Republic	2012	Polák, M.; Drápalová, L.	República Checa	Waste Management	Scopus e Science Direct	Teórico	Pesquisa foca em telefones celulares	Distribuição de probabilidade para a vida útil de celulares e volume de vendas (dados históricos e previsões futuras), importações e exportações de telefones celulares	Unidades	Utiliza como métodos o proposto pelo Nordic Council of Ministers (2009), Delphi, método de somas parciais. Distribuição estatísticas: Weibull.	Estimativas para os anos de 1995-2020

Nº	Título	Ano	Autores	País	Periódico	Base de Dados	Tipo de estudo	Descrição da pesquisa	Variáveis consideradas	Variável resposta	Método/ Ferramenta utilizada	Observações
8	Estimation of future outflows and infrastructure needed to recycle personal computer systems in California	2006	Kang H.Y. ; Schoenung J.M.	Estados Unidos	Journal of Hazardous Materials	Science Direct e ISI - Web of knowledge	Simulação	Pesquisa realizada na Califórnia com computadores. Utiliza dados históricos e projeções de vendas de outras fontes, além da estimativa do fim de vida útil dos computadores.	Tempos: uso do 1º usuário, de armazenamento, de reuso, de armazenamento após reuso. Forma de disposição final dos resíduos. Percentual de reciclagem de computadores, de reuso, de armazenamento e de disposição final.	Unidades e Cuusto (\$)/ano	Utiliza MFA - Material Flow Analysis associado ao Modelo de Kang e Shenung (MRF) para avaliar custos. 4 cenários para simulação dos resultados.	Consumidor compra o computador completo: CPU e monitor. Usa dados de vendas até 2003.
9	Estimation of future outflows of e-waste in India	2010	Dwivedy M.; Mittal R. K.	India	Waste Management	Science Direct e ISI - Web of knowledge	Simulação	Pesquisa considera dois grupos de equipamentos: 1º grupo: computadores e TV 2º grupo: geladeira, máquina de lavar e ar condicionado	Vendas, tipo de produto, média do tempo de vida, tempo de reutilização, tempo de armazenamento, percentual de utilização, de reuso, de reciclagem e de destinação final.	Unidades e Peso (toneladas)	Utiliza Visual Basic do Excel e simula 2 cenários. Análise de sensibilidade	Os resíduos eletrônicos podem ter 4 destinos após o uso do 1º usuário: reutilização, armazenamento, reciclagem ou destinação final.
10	Evolution of Product Lifespan and Implications for Environmental Assessment and Management: A Case Study of Personal Computers in Higher Education	2009	Babbitt, C.W.; Kahhat, R.; Williams, E.; Babbitt, G.A.	Estados Unidos	Environmental Science & Technology	ISI - Web of knowledge e Scopus	Teórico	Pesquisa foi realizada na Universidade do Arizona e tem como foco a vida útil de computadores	Computadores comprados por ano, computadores em uso, computadores armazenados após uso, tempo de uso, tempo de armazenamento.	Tempo (anos)	Matlab Distribuição de probabilidades e testes estatísticos	População da pesquisa foi definida como aquela que comprou computadores em determinado ano entre 1985 e 2000. Artigo trabalha na determinação do tempo de vida de computadores.
11	Forecasting Global Generation of Obsolete Personal Computers	2010	Yu, J.L.; Williams, E.; Ju, M.T.; Yang, Y.	Estados Unidos	Environmental Science & Technology	ISI - Web of knowledge e Scopus	Teórico	Pesquisa foi realizada na Universidade do Arizona. Objetivo é determinar o número de computadores obsoletos no mundo. Usa dados de terceiros como fonte.	Dados de vendas anuais de computadores, taxa de penetração, taxa de crescimento	Tempo (anos) e Unidades	Método MFA e Modelo Logístico	Não se aplica para servidores, apenas para computadores, notebooks e laptops. Artigo trabalha na determinação do tempo de vida de computadores.
12	Forecasting quantities of disused household CRT appliances - A regional case study approach and its application to Baden-Württemberg	2009	Walk, W.	Alemanha	Waste Management	Scopus e Science Direct	Estudo de caso e Survey com consumidores	Pesquisa trabalha com televisores e monitores em uma região da Alemanha e procura identificar tempo de vida do equipamento e a possibilidade de sua substituição em função de novas tecnologias.	Taxa de falhas dos equipamentos, número de equipamentos por residência, tempo de uso, possibilidade de substituição por novo equipamento, peso médio dos equipamentos	Unidades / tempo (anos)	Modelar tempo de vida do produto (distribuição de Weibull) e testar (Böblinger); Extrapolar estoques; Modelo de Fischer -Pry para estimar substituição de aparelhos. Análise de sensibilidade	Não foram considerados fatores como a facilidade de encaminhar o resíduo eletrônico para postos de coleta, a quantidade que pode estar armazenada nas residências sem uso. Os monitores e televisores foram divididos em 2 grupos conforme tamanho. O método é adequado para residências. Para outros tipos de aplicações é preciso avaliar a pertinência do método
13	Future trends in computer waste generation in India	2010	Dwivedy, M., Mittal, R.K.	India	Waste Management	Scopus, Science Direct e ISI - Web of knowledge	Simulação	Pesquisa foca em computadores na Índia até 2025. Foram utilizados dados de terceiros como fonte (vendas, estimativas de tempo de uso...)	Taxa de penetração, taxa de crescimento, estoque, vendas, percentual de computadores obsoletos, armazenados, reutilizados	Unidades per capita; unidades e % reciclado	Utiliza a função logística do modelo de Yang e Williams (2009) e também o modelo de múltiplos tempos de vida. Simulação. Utilizado o Mathlab.	Foram simulados dois cenários: um otimista e um pessimista. Tem como propósito estimar a quantidade de computadores obsoletos e quais ações são executadas com estes equipamentos.

Nº	Título	Ano	Autores	País	Periódico	Base de Dados	Tipo de estudo	Descrição da pesquisa	Variáveis consideradas	Variável resposta	Método/ Ferramenta utilizada	Observações
14	Generation amount prediction and material flow analysis of electronic waste: a case study in Beijing, China	2006	Liu, X. B. ; Tanaka, M. ; Matsui, Y.	China	Waste Management & Reserach	ISI - Web of knowledge	Estudo de caso e Survey com consumidores	Artigo trabalha com televisão, geladeira, ar condicionado, máquina de lavar roupas e computadores. O estudo foi realizado em Beijing, capital da China.	Vida útil, taxa de obsolescência, taxa de reuso, taxa de descarte, vendas, estoques	Unidades	Método MFA; Questionários para levantar dados sobre reuso, armazenamento e descarte de equipamentos; SPSS software. Regressão	Foi utilizado o método de oferta de mercado foi utilizado porque a compra dos equipamentos em estudo ainda é crescente em Beijing.
15	How much e-waste is there in US basements and attics? Results from a national survey	2009	Saphores J.D.M.; Nixon H.; Ogunseitan, O.A.; Shapiro, A.A.	Estados Unidos	Journal of Environmental Management	Science Direct e ISI - Web of knowledge	Survey com consumidores	Artigo trabalha com televisores, computadores, telefones convencionais e celulares, impressoras, câmeras fotográficas digitais, aparelhos de fax, rádios, microondas e handsets eletrônicos.	Idade, sexo, estado civil, status profissional, etnia, tamanho da casa, nível educacional, compras, destinação do lixo eletrônico usual, conhecimento de leis	Unidades	Modelo de Regressão de Poisson Utiliza software Stata 9.1 Análise de componentes principais	Sugere que não há dados sobre quantidade de produtos estocados nos Estados Unidos e que alguns estudos usam dados sobre vendas para fazer esta estimativa. Neste artigo os autores propõe uma combinação de dados das vendas e de dados levantados via survey. Survey foi realizado via internet Resultados são apresentados para grandes e pequenos eletrodomésticos
16	Logistic model-based forecast of sales and generation of obsolete computers in the USA	2009	Yang, Yan; Williams, Eric	Estados Unidos	Technological Forecasting and Social Change	ISI - Web of knowledge , Scopus, Science Direct e Proquest	Teórico	Artigo visa conhecer as tendências futuras de geração de computadores obsoletos.	Vendas, tipo de computador, taxa de penetração, vida útil estimada	Unidades	Modelo logístico; modelo de fluxo de materiais e análise de dados históricos	Não considera o tempo que o computador obsoleto fica armazenado, nem qual o destino é dado após o armazenamento: reuso, reciclagem ou aterro.
17	Modeling obsolete computer stock under regional data constraints: An Atlanta case study	2007	Leigh, N.G.; Realf, M.J.; Ai N.; French, S. P.; Ross, C. R. ;Bras, B.	Estados Unidos	Resources, Conservation and Recycling	Science Direct	Teórico	Artigo foca em computadores não só residenciais, mas também os utilizados no trabalho. Foi realizado em Atlanta. Utiliza dados de terceiros.	Número de computadores por residência, vendas, computadores utilizados no trabalho	Unidades	Modelo de Leigh and Realf's Geographic Information Systems (GIS)	Simula vários cenários ao longo do artigo. Estudo apresenta impacto gerado com o aumento de computadores obsoletos nas empresas de reciclagem
18	Modelling waste generation by the telecom sector in Nigeria: the grey side of the impressive outing	2008	Osibanjo, O.; Nnorom, I.C.; Ogonna, K.C.	Nigéria	Waste Management & Research	ISI - Web of knowledge	Teórico	Artigo trabalha com telefones celulares e baterias. Usa dados de terceiros.	Número de assinantes, população, teledensidade, vida útil.	Unidades	Regressão linear, logaritmica, exponencial e power.	Número de assinantes é igual ao número de telefones em uso e a população foi assumida como sendo constante. Foram adotados como pesos médios para um telefone e uma bateria, 100g e 24g respectivamente. Análise iniciada em 2001, ano em que foi introduzido o sistema digital de telefonia móvel no país.
19	Predicting future quantities of obsolete household appliances in Nanjing by a stock-based model	2011	Zhang, L., Yuan, Z., Bi, J.	China	Resources, Conservation and Recycling	ISI - Web of knowledge , Scopus e Science Direct	Teórico	Artigo trabalha com ar condicionado, geladeira, máquina de lavar roupa, televisor e computador. Utiliza dados de terceiros.	Número de produtos vendidos, população, taxa de urbanização, tamanho das residências, crescimento populacional, probabilidades dos produtos serem descartados ou reutilizados, número de residências, número de produtos por residência	Unidades	Modelo MFA e distribuição de Weibull	Tempo de vida foi definido como uma probabilidade. Os dados sobre os produtos e residência são de 2009.

Nº	Título	Ano	Autores	País	Periódico	Base de Dados	Tipo de estudo	Descrição da pesquisa	Variáveis consideradas	Variável resposta	Método/ Ferramenta utilizada	Observações
20	Present status of the recycling of waste electrical and electronic equipment in Korea	2007	Lee, J.C.; Song, H.T.; Yoo, J.M.	Coreia do Sul	Resources, Conservation and Recycling	ISI - Web of knowledge	Teórico	Artigo trabalha com ar condicionado, geladeira, máquina de lavar roupa, televisor, celular e computador. Utiliza dados de terceiros. Foco é no processo de reciclagem.	Vendas, estimativa de equipamentos obsoletos, estimativa de vida útil, estimativa de equipamentos que vão para aterros.	Unidades	Relaciona quantidade de produtos vendidos e vida útil de cada equipamento para estimar obsolescência	Trata com diferenciação computadores e celulares por terem um mercado de substituições mais dinâmico.
21	Status quo of e-waste management in mainland China	2006	Li, J., Tian, B., Liu, T., Liu, H., Wen, X., Honda, S.	China	Journal of Material Cycles and Waste Management	Scopus	Survey com consumidores	Artigo trabalha com ar condicionado, geladeira, máquina de lavar roupa, televisor e computador. Utiliza dados de terceiros.	Produtos consumidos por ano (vendidos), Número de equipamentos por residência, população, percentual da população urbana e rural, quantidades importadas e exportadas de equipamentos	Unidades	Modelo de Gompertz Relaciona quantidade de produtos vendidos e vida útil de cada equipamento para estimar obsolescência	Survey foi realizado em 127 residências de Beijing em 2005. Foi investigado também o destino que as pessoas dão aos equipamentos quando o deixam de utilizar. Maiores fontes de lixo eletrônico, em ordem de quantidade gerada, são: residências, escritórios, órgãos do governo e indústrias.
22	Use and disposal of large home electronic appliances in Vietnam	2009	Nguyen, D.Q.; Yamasue, E.; Okumura, H.; Ishihara, K.N.	Vietnã	Journal of Material Cycles and Waste Management	ISI - Web of knowledge e Scopus	Survey com consumidores	Artigo trabalha com ar condicionado, geladeira, máquina de lavar roupa, televisor e computador. Estimativa de vida útil utilizada é dado de terceiros.	População urbana e rural, número de pessoas por residência, número de equipamentos por residência, produtos vendidos, percentual de equipamentos novos e usados por residência, forma de descarte, tempo de uso de cada equipamento	Peso (toneladas)	Distribuição de Weibull Função Logística	Survey foi realizado com 1904 estudantes (familiares) de duas universidades + 184 residências que não eram de estudantes das universidades. No final foram analisados 639 questionários. Para análise as famílias foram divididas conforme suas rendas.
23	Quantification and probabilistic modeling of CRT obsolescence for the State of Delaware	2014	Schumacher, K.A.; Schumacher T.; Agbemabiese, L.	Estados Unidos	Waste Management	ISI - Web of knowledge	Teórico	Artigo trabalha com monitores de computadores e televisores. Utiliza dados de terceiros.	Número de produtos vendidos, vida útil média, taxa de obsolescência	Peso (toneladas)	Método de abastecimento de mercado (Market Supply Method)	O estudo é realizado em um estado dos Estados Unidos
24	Reason-code based model to forecast product returns	2012	Potdar, A. ; Rogers J.	Estados Unidos	Foresight	Emerald	Teórico	Trabalha com logística pós venda, não pós consumo. Utiliza método para uma Filmadora digital (Mini DV type)	Percentual de retorno por razão de retorno (defeito, insatisfação...), percentual de retorno por modelo de equipamento	% de retorno	Método Código da Razão do retorno (RC). Distribuição exponencial e normal. Simulação	São utilizados 3 códigos de razão de retorno. Considera distribuições de probabilidade diferentes para as razões. Considera somente dados de vendas das lojas físicas. Divide as razões de retorno em produtos com defeito, razões diversas e produto não atende necessidade do cliente. Não considera fim da vida útil. Logística reversa pós venda.
25	Forecasting product returns for recycling in Indian electronics industry	2014	Agrawal S.; Singh, R. K.; Murtaza, Q.	India	Journal of Advances in Management Research	Emerald	Teórico	A ideia é modelar a quantidade e o tempo de retorno de telefones móveis para o fabricante/reciclador	Probabilidade e tempo médio de reciclagem, reuso, armazenamento e disposição final.	Tempo (meses) e % de retorno	Graphical Evaluation and Review Technique (GERT)	Apresenta o modelo do gráfico e as fórmulas.

Nº	Título	Ano	Autores	País	Periódico	Base de Dados	Tipo de estudo	Descrição da pesquisa	Variáveis consideradas	Variável resposta	Método/ Ferramenta utilizada	Observações
26	A fuzzy expert system design for forecasting return quantity in reverse logistics network	2014	Temur, G. I. T.; Balcilar, M.; Bolat B.	Turquia	Journal of Enterprise Information Management	Emerald	Teórico	Busca quantificar resíduos de todos os equipamentos eletroeletrônicos utilizando a lógica Fuzzi	População; Densidade de população; Taxa de alfabetização; Taxa de lixo eletrônico por habitante; Investimento ambiental por habitante; PIB; preço para produtos recolhidos	Peso (Kg) / per capita e Unidades	Fuzzy expert system	Os cálculos são realizados por cidades. Houve separação dos EEE em 4 grupos. Faz análise de redundância.
27	Estimation of waste from computers and mobile phones in Iran	2014	Rahmania, M.; Nabizadehb, R.; Yaghmaeiana, K.; Mahvia, A. H.; Yunesianb, M.	Irã	Resources, Conservation and Recycling	Scopus	Survey com consumidores e Simulação	Estudo busca dados do país, considerando que não se aplicam ao Irã, através de um survey. Trabalha com Computador e Telefone móvel	Importações de computadores e telefones móveis, questionário com vida útil dos equipamentos, % destinado para segundo usuário, % armazenado, % enviado para coleta municipal de lixo, % entregue para reciclagem informal	Unidades	Séries temporais, modelo logístico, análise de sensibilidade / Excel	Estudo utilizou como base o survey com a população do Irã para estimar a vida útil. Não traz dados estatísticos da amostragem dos consumidores.
28	Time-series product and substance flow analyses of end-of-life electrical and electronic equipment in China	2014	Habuer; Nakatani J.; Moriguchi Y.	China	Waste Management	Scopus	Teórico	Trabalha com televisores, refrigeradores, máquina de lavar, ar condicionado e computadores. Utiliza várias etapas como metodologia de trabalho	Produção, importação e exportação de EEE na China, Vida útil	Unidades e Peso (toneladas)	Regressão logística para estimar número de EEE, Método de abastecimento de mercado (Market Supply Method) para estimar a vida útil dos EEE, distribuição de Weibull, séries temporais para análise do fluxo de substâncias (SFA), análise de sensibilidade	Dados de terceiros. Estimativa entre 1995 e 2030

3 ARTIGO 2: Política Nacional dos Resíduos Sólidos e REEE: responsabilidades e dificuldades compartilhadas

National Policy of Solid Waste and WEEE: shared responsibilities and difficulties

Submetido ao periódico

Ambiente & Sociedade

Qualis B3 (Eng III) e A2 (Ciências Ambientais)

Resumo

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) exige a implantação da logística reversa para os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE). Este artigo tem como objetivos apresentar a legislação brasileira e de outros países que tratam dos REEE, verificar a percepção dos *stakeholders* no processo de logística reversa sobre responsabilidades e atribuições de cada um e, ainda, apontar as possíveis dificuldades e ações necessárias para implantar a logística reversa para equipamentos eletroeletrônicos. O método de pesquisa teve caráter qualitativo e consistiu na realização de entrevistas pessoais e por e-mail, além da realização de um grupo focado com consumidores. Como resultado pode-se salientar que, para que consumidores descartem corretamente seus REEE, é preciso que se invista em campanhas educativas e que sejam ofertados mais postos de coleta. Ainda como resultado, observou-se ser necessário que se estabeleça um acordo setorial, considerando as peculiaridades do Brasil, para definir questões práticas, como a definição das responsabilidades físicas e financeiras da logística reversa e o tratamento que será dado aos produtos órfãos.

Palavras-chave: Política Nacional de Resíduos Sólidos, Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, REEE, Logística Reversa.

ABSTRACT

The National Policy on Solid Waste (PNRS) requires the achievement of reverse logistics for waste electrical and electronic equipment. This paper aims to present the Brazilian legislation and other countries regarding WEEE, verify the perception of those stakeholders in reverse logistics process about duties and responsibilities of each, and also point to the potential difficulties and actions to implement logistics reverse for electrical and electronic equipment. The research method was qualitative and consisted of interviews and a focus group. The results that can be noted for consumers properly discard their electronic waste, it is necessary to invest in educational campaigns and to offer more collection points. Also as a result, it was found to be essential to establish a sectoral agreement, considering the Brazil peculiarities, to define practical issues such as the definition of responsibilities for the costs involved in reverse logistics and the treatment to be given to for orphans products.

Keywords: National Policy on Solid Waste, Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE, Reverse logistics.

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que, em 2005, foram colocados no mercado da União Europeia mais de 48 milhões de computadores e, nos Estados Unidos, 139 milhões de novos dispositivos para comunicação móvel (UNEP, 2009). Em 2014, 97,1% das residências brasileiras possuíam aparelhos de televisão, 48,5% possuíam computadores, 58,7% possuíam máquinas de lavar e em 93,5% dos lares pelo menos um dos moradores tinha telefone celular (IBGE, 2016).

Com o mercado em expansão e as inovações constantes, a substituição dos produtos eletroeletrônicos, seus componentes e acessórios, é acelerada. Desta forma, estes chegam ao final de sua vida útil rapidamente tornando-se resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), segundo o Parlamento Europeu (2015b). Conforme a UNEP (2012), REEE é uma mistura complexa de resíduos perigosos e não perigosos, que requerem serviços especializados para segregação, coleta, transporte, tratamento e disposição final.

Estudos realizados pela Universidade das Nações Unidas estimam que serão geradas aproximadamente 12 milhões de toneladas por ano deste tipo de resíduos em 2020 somente na União Europeia (HUISMAN *et al.*, 2007). Se estes resíduos não forem corretamente destinados podem causar sérios danos ao meio ambiente e à saúde humana, por conterem elementos perigosos como chumbo, cádmio, arsênio e bromo (UNEP, 2009).

Por estes motivos, algumas nações no mundo têm regulamentações específicas para tratamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. A Suíça, conforme Wath *et al.* (2010), foi o primeiro país a desenvolver um sistema bem organizado de gestão do REEE, que inclui sistema de coleta, transporte, reciclagem e disposição final. Programas bem sucedidos para gestão dos REEE em outros países não necessariamente serão bem sucedidos no Brasil, uma vez que é preciso compreender a cultura do local, mas é importante conhecê-los para aprender com suas experiências, conforme Kahhat *et al.* (2008).

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída através da Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 e determina a obrigatoriedade de implantação de sistemas de logística reversa para produtos eletroeletrônicos e seus componentes. Logística reversa pode ser compreendida como um conjunto de ações, procedimentos e meios que viabilizem a coleta dos resíduos e sua restituição ao setor produtivo para reaproveitamento ou para destinação adequada. E este sistema deverá ser independente do serviço público de limpeza urbana (BRASIL, 2010).

Sendo assim, este artigo tem como objetivos: (i) apresentar a legislação brasileira e de outros países no que se refere aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos; (ii) verificar a percepção dos *stakeholders* (consumidores, empresas gerenciadoras de resíduos, fabricantes e governo) a respeito das atribuições de cada um na implementação desta nova política; (iii) verificar quais as dificuldades/obstáculos podem ser encontradas na implementação da PNRS.

2 REGULAMENTAÇÃO DOS REEE

A União Europeia, através da diretiva WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*) de 2002, estabeleceu, principalmente, que: (i) os produtores são responsáveis pelo financiamento do retorno de produtos eletroeletrônicos ao processo produtivo ou por outra destinação ambientalmente correta; (ii) o design e a produção destes equipamentos deve facilitar a desmontagem e a separação de peças para reaproveitamento/reciclagem; (iii) o REEE deve ser segregado dos demais resíduos e a coleta deve ser gratuita para as residências; (iv) os produtores devam alcançar as metas de reciclagem e reuso estabelecidas na diretiva (NNOROM; OSIBANJO, 2008). Em 2012, na ocasião da revisão da Diretiva WEEE, foram definidas novas metas de valorização, reciclagem e reutilização dos EEE gradativamente até o ano de 2018, conforme categoria do EEE. Por exemplo, a partir de 2018, 80% dos eletrodomésticos de grande porte e dos aparelhos de informática devem ser preparados para a reutilização e reciclados (PARLAMENTO EUROPEU, 2015b).

Magalini e Huisman (2007) comentam que, para alguns países europeus que já possuíam infraestrutura de reciclagem, a transposição da diretiva para lei nacional foi relativamente fácil, enquanto outros enfrentam grandes dificuldades. Em agosto de 2004, prazo dado pela diretiva WEEE, apenas a Holanda e a Grécia tinham a lei definida. Em alguns casos, o atraso para transposição da diretiva para lei não foi relevante, pois países como Áustria, Bélgica e Suécia já possuíam regulamentações sobre o tema que precisaram apenas adaptações.

Na União Europeia há diferentes modelos de responsabilidades pela coleta de REEE. Na Alemanha a responsabilidade física e financeira pela coleta é dos governos municipais, enquanto no Reino Unido os governos municipais não se envolvem com a coleta

de REEE e as responsabilidades cabem aos distribuidores e produtores. Na Suécia são os produtores que respondem integralmente pelo serviço de coleta. Na Finlândia há compartilhamento de responsabilidades pela coleta física de REEE entre produtores, distribuidores e governos municipais, mas somente os produtores assumem a parte financeira. Já em Portugal há compartilhamento de responsabilidades físicas e financeiras entre produtores, distribuidores e governos municipais (UNEP, 2012).

No Japão, conforme Nnorom e Osibanjo (2008), os consumidores pagam taxas para o retorno dos produtos eletrônicos aos fabricantes, responsáveis pela sua reciclagem. Em 1998 foi estabelecida uma política de retorno com metas de reciclagem para quatro equipamentos: refrigeradores, ar condicionado, máquinas de lavar e televisores. Em 2004 já existiam 41 instalações para reciclagem do REEE no país, muitas delas financiadas pelo governo ou fabricantes de equipamento eletroeletrônico. A legislação japonesa para os computadores determina a cobrança de taxa de reciclagem apenas para equipamentos adquiridos antes de outubro de 2003, porque após esta data esta taxa já está inclusa no preço pago pelo novo computador.

Na China, desde 2004, resultado de um projeto em conjunto com a Suíça, foram criadas usinas para reciclagem de resíduo de equipamento eletroeletrônico (UNEP, 2009). Em 2006, a China promulgou uma diretiva para administração dos REEE, semelhante à diretiva da União Europeia, que proíbe a utilização de certos componentes químicos perigosos na fabricação de produtos eletroeletrônicos. Em 2011, publicou um regulamento (*Regulation on the Administration of the Recovery and Disposal of WEEE*) que delega aos produtores e representantes a responsabilidade pela coleta e disposição dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, mas ainda deixa lacunas de ordem prática, segundo Oliveira, Bernardes e Gerbase (2012). Salhofer *et al.* (2015) afirmam que o governo chinês controla o sistema visando fortalecer a formalidade do setor de reciclagem, através de subsídios, uma vez que existe muita informalidade neste setor.

Nos Estados Unidos (EUA) não há uma legislação unificada para todos os seus estados, exceto uma legislação federal que impede a disposição do REEE em aterros, mas que isenta o consumidor doméstico e pequenas empresas de penalidades (OLIVEIRA; BERNARDES; GERBASE, 2012). A Califórnia, em 2003, criou regras específicas para o REEE baseadas no princípio da responsabilidade estendida do produtor. O Canadá, segundo Lepawsky (2012), também possui múltiplas regulamentações, específicas para cada província.

Até maio de 2011, 25 estados dos EUA e 8 províncias do Canadá tinham promulgado leis para gerenciamento de REEE, segundo Hickle (2013).

A forma de financiamento da coleta e tratamento também não é uniforme nos Estados Unidos e no Canadá. Enquanto na Califórnia (EUA) e em quase todas as províncias do Canadá é cobrada uma taxa do consumidor no momento da compra do produto novo, conforme o tipo de equipamento, nos demais estados dos Estados Unidos e na província de Ontário (Canadá), a taxa é cobrada dos fabricantes, que transferem indiretamente estes custos aos produtos novos (LEPAWSKY, 2012).

Segundo UNEP (2012), a Índia instituiu regulamentação para gestão e manejo de REEE em 2011, com vigor iniciando em 2012. Em torno de 70% dos REEE processados na Índia são importados, afirmam Sthiannopkao e Wong (2013), e como há poucas instalações com capacidade para tratar adequadamente este tipo de resíduos, a maioria vai para o mercado informal, que parece não sofrer os efeitos da legislação.

Dos 11 países africanos citados no relatório da UNEP, três não possuíam regulamentação específica para a questão do REEE (Argélia, Egito e Marrocos), sete estavam na fase de planejamento (Benin, Costa do Marfim, Gana, Libéria, Nigéria, Ruanda e África do Sul) e um preparava a implantação (Tunísia) (UNEP, 2012). A ANGED (*Agence Nationale de Gestion des Déchets*) é uma instituição pública da Tunísia, criada em 2005, que tem como objetivos, dentre outros, controlar o gerenciamento dos resíduos, incentivar a valorização dos materiais e contribuir para a proteção ambiental. Esta instituição mantém um setor específico para gestão dos REEE que coordena um projeto de coleta de equipamentos de informática nos órgãos públicos e que assinou, no final de 2010, um convênio para um projeto piloto de coleta, tratamento e valorização dos REEE no país (ANGED, 2016). Já a Nigéria, onde 75% dos equipamentos importados são inservíveis, estabeleceu uma regulamentação nacional específica para os EEE em 2011, segundo NESREA (2013). Esta regulamentação baseia-se no ciclo de vida dos produtos e no princípio da responsabilidade estendida do produtor, além de definir responsabilidades dos *stakeholders* e taxas para importadores de REEE.

Na América Latina, conforme dados apresentados no RELAC (2012) e UNU-IAS (2015), alguns países já possuem legislações específicas para os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos: Brasil, Colômbia, Costa Rica, Equador, México e Peru. A Colômbia, por exemplo, publicou a regulamentação para REEE, baseada no princípio da responsabilidade estendida do produtor, em 2013. Já o Peru possui regulamentação específica desde 2012,

definindo responsabilidade para os *stakeholders* no processo, e em 2015 publicou nova lei que estabelece metas para tratamento de REEE.

Guiana, Haiti, Paraguai e Suriname, segundo UNU-IAS (2015), não possuem legislação para os REEE. Os demais países encontram-se na fase de desenvolvimento da regulamentação. Algumas províncias da Argentina possuem seu regulamento para controle deste tipo de resíduo, como a província de Buenos Aires desde 2011, mas a legislação nacional ainda está em discussão no parlamento argentino. O Chile trata os REEE no contexto dos resíduos perigosos, mas está desenvolvendo regulamentação específica baseada no princípio da responsabilidade estendida do produtor (UNU-IAS, 2015).

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi aprovada em 2010, através da Lei nº 12.305, e tem por princípios norteadores, entre outros, a visão sistêmica na gestão dos resíduos sólidos, o desenvolvimento sustentável e a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Neste caso, entende-se por responsabilidade compartilhada o conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos *stakeholders* no processo, visando minimizar o volume de resíduos e rejeitos gerados e reduzir impactos causados ao ser humano e ao meio ambiente (BRASIL, 2010). Para viabilizar este processo de logística reversa, segundo Nnorom e Osibanjo (2008), percebe-se a necessidade de regras claras e bem definidas para orientar a ação de quatro *stakeholders*: governo, fabricantes, consumidores e empresas gerenciadoras de resíduos.

Já em seu artigo 33, a PNRS institui a obrigatoriedade de implantação de sistemas de logística reversa para produtos eletroeletrônicos e seus componentes, tanto por parte dos fabricantes, quanto importadores ou distribuidores ou comerciantes. Logística reversa é compreendida como um instrumento de desenvolvimento econômico e social e é definida pela política como um conjunto de ações, procedimentos e meios para viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial para reaproveitamento ou destinação final ambientalmente adequada. Salienta-se que esta obrigatoriedade do sistema de logística reversa aplica-se aos produtos após seu uso pelo consumidor e que deve ser independente do serviço público de limpeza urbana (BRASIL, 2010).

Segundo a PNRS, o gerador de resíduo domiciliar (consumidores) tem sua responsabilidade cessada após disponibilização adequada destes para coleta ou, nos casos específicos do artigo 33, com a devolução. Já os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes devem investir no desenvolvimento de produtos que sejam aptos à reutilização e

reciclagem e que gerem a menor quantidade possível de resíduos sólidos no seu processo de fabricação (BRASIL, 2010).

A PNRS tramitou no Congresso Brasileiro por muitos anos até ser promulgada em 2010 e o Acordo Setorial para os produtos eletroeletrônicos, 5 anos depois, ainda não tem data definida para ser estabelecido e entrar em vigor. O Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2015) acompanha a criação do Acordo Setorial dos eletroeletrônicos. No final de 2012 foi concluído, pelo Grupo Técnico de Trabalho criado em 2011, o estudo de viabilidade técnico-econômica e análise da situação dos resíduos (ABDI, 2015). O Edital de chamamento de Propostas de Acordos Setoriais foi publicado em fevereiro de 2013. Foram recebidas dez propostas até junho de 2013, sendo quatro consideradas válidas e uma proposta unificada foi apresentada em janeiro de 2014. As próximas etapas serão a Consulta Pública e a Assinatura do Acordo Setorial (SINIR, 2015).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A figura 3.1 apresenta as seis etapas utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho: (i) revisão da literatura, (ii) planejamento, (iii) contato e agendamento das entrevistas, (iv) definição dos roteiros, (v) coleta de dados e (vi) análise e interpretação de dados.

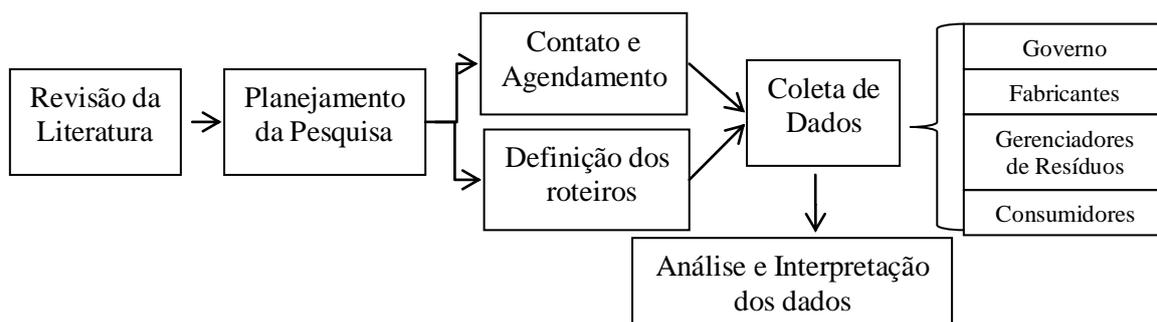


Figura 3.1 – Método de trabalho

Toda pesquisa necessita de uma revisão da literatura para fundamentar teoricamente ou justificar os limites e contribuições desta pesquisa, segundo Cervo, Bervian e Da Silva (2007). O planejamento da pesquisa é a etapa onde se define o tipo de pesquisa, a forma que esta será realizada e o cronograma da mesma. Neste trabalho foi utilizada uma

abordagem qualitativa, utilizando-se de instrumentos para coleta de dados como entrevistas pessoais e por e-mail, aplicação de questionários e realização de um grupo focado.

A amostra utilizada foi do tipo não probabilístico por conveniência ou por acessibilidade. Neste tipo de amostra o pesquisador seleciona os elementos que estão disponíveis no local e momento em que a pesquisa está sendo realizada (GIL, 2007). A pesquisa foi realizada no Rio Grande do Sul, Brasil.

Esta pesquisa buscou contato com os *stakeholders* citados por Nnorom e Osibanjo (2008). Em relação ao governo, foram contatados órgãos municipais e estaduais relacionados ao meio ambiente, obtendo aceite de participação na pesquisa de representantes da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAM) e do Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) de Porto Alegre/RS.

O fabricante de produtos eletroeletrônicos foi contatado através de um facilitador. A empresa localiza-se na região metropolitana de Porto Alegre e fabrica produtos para comunicação de dados, voz e imagem. Em relação às empresas gerenciadoras de REEE, foram contatadas quatro empresas na região metropolitana de Porto Alegre, sendo que duas aceitaram participar da pesquisa.

Quanto aos consumidores, optou-se por dois grupos, sendo um composto por adultos com idade média de 32 anos e outro por adolescentes com idade média de 16 anos. Os adultos possuíam formação escolar mínima de ensino médio e eram economicamente ativos. Os adolescentes estudavam em uma escola pública de Porto Alegre e cursavam o último ano do ensino médio.

Para os representantes do governo, dos fabricantes e das empresas gerenciadoras de resíduos foram realizadas entrevistas, por e-mail ou presenciais. Para os consumidores o procedimento foi a realização de um grupo focado com os adultos e a aplicação de um questionário para os adolescentes.

A definição dos roteiros das entrevistas baseou-se nos objetivos do artigo e no referencial teórico, como sugere Malhotra (2001). No caso dos consumidores, para ganhar a confiança e verificar o quanto o entrevistado tem conhecimento sobre o assunto, foram elaboradas duas questões mais simples. Foram definidas questões abertas a serem apresentadas em todas as entrevistas e grupo focado, variando apenas a forma de apresentação e adequando a linguagem de forma a facilitar o entendimento das questões pelos entrevistados. Para os representantes do governo e dos fabricantes houve a inclusão de uma

questão adicional, pois há solicitações específicas para estes *stakeholders* na PNRS. O quadro 3.1 mostra o roteiro básico desta pesquisa.

Quadro 3.1 – Roteiro de questões para realização das entrevistas e do grupo focado

Tipo de questão	Aplicação	Texto base da questão
Questões iniciais	- Consumidores	- Qual a sua opinião sobre o resíduo eletrônico? - Você conhece a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos e o que é exigido para resíduos de equipamentos eletroeletrônicos? Se conhece, qual a sua opinião sobre esta legislação?
Questões Principais	- Governo - Fabricante - Gerenciadores de REEE	- Qual a opinião desta Secretaria/ Departamento/ Empresa sobre a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos? - E em relação ao que é exigido para resíduos de equipamentos eletroeletrônicos?
	- Governo - Fabricante - Gerenciadores de REEE - Consumidores	- Em relação aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, para implantação desta nova política, qual o papel do governo, dos fabricantes, das empresas de reciclagem e dos consumidores? - Quais as dificuldades que são encontradas para implantação e manutenção desta nova política?
Questões específicas	- Governo	- Na PNRS existe a obrigação da elaboração do Plano Municipal / Estadual / Nacional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Comente a respeito da elaboração deste plano
	- Fabricantes	- Atualmente, como a empresa trata o processo de logística reversa para os equipamentos eletroeletrônicos?

As entrevistas e o grupo focado foram realizados ao longo do período de realização desta tese, especificamente entre os meses de maio e junho de 2012. Não houve gravação das entrevistas, apenas o registro da pesquisadora e a transcrição dos dados logo após a realização da mesma. Já o grupo focado foi realizado no final de maio de 2012 e foi gravado em áudio e vídeo, para facilitar a posterior transcrição dos dados pela pesquisadora, já que se tratava de um grupo maior e seria difícil anotar as informações durante a sua realização. O questionário para o grupo de consumidores adolescentes foi entregue impresso para os entrevistados.

Os resultados obtidos foram analisados para avaliar o conhecimento dos *stakeholders* sobre o tema, buscando a veracidade das informações fornecidas durante as entrevistas, bem como objetivando identificar similaridades e conflitos de opiniões. Também foram criados esquemas e resumos das ideias apresentadas visando facilitar o entendimento sobre as responsabilidades, interferências e interligações de cada envolvido no processo de logística reversa para os REEE.

4 RESULTADOS DA COLETA DE DADOS

A descrição das informações obtidas durante a coleta de dados é realizada na sequência. No item referente ao Governo são apresentadas as duas entrevistas individuais com representantes de órgãos ligados ao meio ambiente do município de Porto Alegre. A empresa fabricante de produtos eletroeletrônicos foi representada por três pessoas, que participaram da entrevista de forma conjunta. No item das empresas gerenciadoras de REEE foram entrevistados representantes de duas empresas de forma individual. Já para os consumidores, os resultados são apresentados em duas partes: o grupo focado com 5 participantes e o questionário com 20 participantes.

4.1 Governo

A Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Porto Alegre (SMAM) foi criada em 1976 e possui uma equipe específica que trata dos resíduos sólidos. O questionário foi respondido por uma engenheira que trabalha no órgão há mais de três anos, via e-mail, no mês de maio de 2012. Segundo a entrevistada, a SMAM cobra o destino ambientalmente correto de todos os resíduos perigosos, inclusive para os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, desde a resolução do Conselho do Meio Ambiente em 2006. Para ela, a PNRS veio para reforçar e propiciar mais uma ferramenta para o trabalho que já era executado na cidade, pois Porto Alegre já dispõe de postos de coleta permanente para REEE.

Um aspecto observado pela entrevistada da SMAM é a dificuldade que os lojistas ou revendedores estão enfrentando para devolver o produto ao fabricante, pois ainda não existe um acordo setorial. Embora os consumidores estejam procurando os órgãos ambientais para buscar informações a respeito do destino correto de seus resíduos, o maior problema ainda é a correta segregação na fonte, não somente dos REEE, mas de todos os tipos, dificultando o trabalho das usinas de reciclagem.

No dia 15 de junho de 2012, com duração aproximada de uma hora, foi realizada a entrevista com uma engenheira que trabalha no Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) de Porto Alegre/RS há quase 20 anos. A engenheira faz parte da equipe que está

elaborando o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos¹ (PMGIRS) do município, uma das responsabilidades atribuídas ao governo municipal na PNRS. A Prefeitura aguardava a entrega, por parte de uma empresa contratada, da caracterização e diagnóstico do resíduo da cidade para concluir seu plano, na ocasião da entrevista.

Porto Alegre possuía quatro pontos fixos de coleta de REEE e o DMLU já havia organizado feiras para descarte deste tipo de resíduo. Sobre o objetivo das feiras a entrevistada comenta que “Mais do que recolher toneladas de resíduo eletrônico, o objetivo é fazer uma campanha educativa”. Ela percebe que o consumidor começa a descartar seu resíduo com mais cuidado e que alguns consumidores querem que o poder público recolha o REEE da mesma forma que faz com o resíduo comum, mas não há escala para criar uma coleta deste tipo e também não se pode jogar estes resíduos em caminhões da mesma forma que se faz com a coleta residencial.

A prefeitura tinha convênio com uma empresa para coletar o que é entregue voluntariamente nas feiras e também em condomínios. A empresa não cobra pelo serviço, pois sua receita vem da segregação e venda dos materiais coletados. Em relação às placas de circuito impresso, a entrevistada sabe que não há empresa no Brasil para fazer esta reciclagem, porque a tecnologia é muito cara, e acredita que a empresa gerenciadora conveniada as encaminha para uma empresa no exterior. Entretanto, o DMLU não tem controle do destino dos resíduos após seu recolhimento por parte desta empresa.

A engenheira acredita que haverá um acordo setorial para os eletroeletrônicos como o que existe para os pneus. O DMLU recolhe pneus que foram descartados na coleta comum ou em terrenos baldios e encaminha para um depósito. Lá uma empresa é responsável pela sua reciclagem e este processo é subsidiado pelos fabricantes de pneus. O custo da reciclagem de REEE, na opinião da entrevistada, será embutido no preço do produto final pelo consumidor. Ainda assim, o problema maior será a logística para o consumidor, pois existem produtos de difícil transporte (peso) e que exigem cuidado para não quebrar.

Ela também julga necessária a participação do governo no acordo setorial para tratar dos produtos órfãos (sem procedência), citando o exemplo das lâmpadas que, se o consumidor não consegue devolver para o comerciante/fabricante, acaba sendo descartada na

¹ PMGIRS de Porto Alegre foi publicado pelo Decreto nº 18.461, de 20 de novembro de 2013. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmlu/default.php?p_secao=161>.

coleta pública, onerando de qualquer forma o serviço público. O papel do governo é, principalmente, a educação da população, propondo mudanças na forma de descarte dos produtos, dando informações e facilitando o correto descarte. Ela afirma que a raiz do problema dos resíduos é que “hoje tudo que é fabricado é feito para não durar”.

As dificuldades para implantação do sistema de logística reversa para os REEE citadas pela entrevistada são: (i) elaborar o acordo setorial entre os fabricantes e o governo, definindo as responsabilidades de transporte, reciclagem e armazenamento; (ii) prover maior facilidade para o consumidor conduzir o resíduo ao ponto de coleta; (iii) elaborar planos de gerenciamento de resíduos sem definição dos acordos setoriais; (iv) e educar a população.

4.2 Fabricante de produto eletroeletrônico

Foram entrevistados dois gerentes de produção e o responsável pela gestão de resíduos produtivos da empresa localizada em Alvorada/RS, no dia 05 de junho de 2012, por aproximadamente 1h15. A empresa atua no segmento de comunicação de dados, voz e imagem e tem como principais produtos modems, rádios, multiplexadores e roteadores.

Inicialmente houve dúvida sobre o que era considerado REEE pelo responsável pela gestão dos resíduos da produção, pois este considerava que se tratava dos rejeitos da produção. Outro entrevistado discordou dizendo que REEE é aquele oriundo dos equipamentos que não são mais utilizados. Esse participante comentou que o Japão teve o mesmo problema na década de 70, com o acúmulo do resíduo eletrônico, porque o país tem problema de espaço físico para armazenar os resíduos e que “o Brasil está engatinhando neste assunto”. Em relação às baterias e pilhas, por exemplo, acreditam que as pessoas estão mais conscientes, descartando nos lugares indicados nos supermercados, nos bancos e nas lojas, mas têm dúvidas se estes resíduos são realmente encaminhados para reciclagem. Não têm maiores conhecimento da PNRS, apenas ouviram comentários. Acreditam que haverá necessidade de leis complementares para definir como a lei será implementada.

Em relação ao papel do governo para que seja possível colocar a PNRS em prática, acreditam que este papel é regulatório, devendo elaborar leis e garantir que sejam cumpridas. Já as fabricantes devem participar do processo, opinar e, uma vez que a lei esteja regulamentada, deverão cumpri-la. Também terão que rever seus custos e talvez seu processo produtivo. Por sua vez, o consumidor deveria ser mais consciente, utilizar de forma racional a tecnologia, usando como exemplo os jovens que trocam de aparelhos celulares mais de uma

vez por ano, não porque estejam com defeito, mas para ter sempre o modelo mais moderno. E, por fim, consideram que as empresas de reciclagem de REEE hoje são “catadores em larga escala”, sem profissionalização, sem cuidado na separação de materiais perigosos.

O maior problema para a implantação da logística reversa para os REEE com sucesso, na opinião dos entrevistados, é a conscientização do consumidor, pois precisará de uma mudança de cultura da sociedade. Também demonstraram preocupação com a responsabilidade pelos produtos que entram ilegalmente no país e importados. Uma deficiência do Brasil é não possuir empresas de reciclagem de eletroeletrônicos com processos bem definidos e que sejam bem estruturadas. Neste aspecto, acham que o Brasil tem um longo caminho a percorrer e o desafio é extrair os materiais das placas de circuito impresso, por exemplo, de uma forma economicamente viável.

Na ocasião, a empresa se preocupava em destinar para uma empresa gerenciadora de resíduos apenas seus rejeitos de produção (estanho, cobre, pedaços de placas de circuito impresso...), bem como os demais resíduos recicláveis (papel e plástico). A empresa vende os resíduos para a gerenciadora, mas não acompanha como é realizada a destinação destes resíduos. Desconhecem se a empresa tem procedimentos definidos para recolhimento de seus produtos vendidos (logística reversa). Para gerenciar esta logística será necessário criar “uma empresa dentro de outra empresa”, enfatizam. No final da entrevista surgiu a preocupação com o passivo da empresa, o que foi produzido durante os 34 anos de sua existência, e que eles não sabem se este produto está em operação ou se já foi descartado.

4.3 Empresas gerenciadoras de REEE

A entrevista com o sócio-diretor da primeira empresa gerenciadora de REEE contatada ocorreu no dia 25 de maio de 2012, com duração aproximada de 1h30, na sede da empresa localizada em Novo Hamburgo/RS. A empresa foi criada há 4,5 anos por três sócios, todos seus clientes são pessoas jurídicas e possui certificação ISO 14.001. O serviço prestado pela empresa inicia com a coleta dos REEE no cliente e é concluído com o acompanhamento de todo o processo até que estes resíduos se tornem matérias primas para novos produtos.

Na opinião do entrevistado, a nova legislação exige que o REEE seja transformado em matéria prima de outros produtos e a lei é interpretada de forma equivocada por outras empresas que realizam doação dos equipamentos ou seu reaproveitamento parcial, porque estas empresas “perdem o controle da responsabilidade pelo equipamento”. Para ele as

exigências da nova lei podem trazer novos negócios para sua empresa, pois hoje o número de fabricantes de equipamentos que são seus clientes ainda é muito pequeno.

O representante da empresa gerenciadora de resíduos percebe uma ambiguidade nas ações do governo, pois a nova política fala em responsabilidade por toda a vida útil do equipamento e outra lei aprovada pela Presidência obriga todos os órgãos públicos federais a doar seus equipamentos a entidades assistenciais ou ONG's. Além disso, o entrevistado afirma que o governo, principalmente em esferas municipais, contrata empresas sem as devidas licenças ambientais. Para ele os fabricantes ainda não estão muito preocupados com a nova política, estão aguardando definições do governo.

Ele acredita que uma das dificuldades será o recebimento destes REEE pelo varejo, que, muitas vezes, não dispõe de local adequado para seu armazenamento. Além disso, afirma que não há definição de quem irá arcar com o custo do transporte. Em sua opinião, uma solução que poderia ser adotada seria um modelo similar ao que acontece com os importadores das lâmpadas: a quantidade recolhida de lâmpadas para reciclagem, independente da marca, habilita a nova importação (compensação).

Uma dificuldade que a empresa enfrenta hoje é convencer as empresas clientes (ou futuros clientes) da importância do descarte correto dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos e de sua responsabilidade até o final da vida útil destes equipamentos. Percebe que está ocorrendo uma mudança de comportamento e “a destinação dos resíduos eletrônicos está entrando na rotina das empresas”, afirma.

O entrevistado afirma que o Brasil possui só uma empresa habilitada para reciclagem de pilhas e baterias e não tem empresa com tecnologia para tratar placas de circuito impresso e aparelhos celulares, por exemplo. Além disso, o diretor enfatiza que há necessidade de vários tipos de licenças ambientais junto à FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental, vinculada a Secretaria Estadual do Meio Ambiente) e ao IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), sendo que a maioria das empresas de reciclagem não tem estas licenças e que cabe ao governo fiscalizar melhor esta questão.

A segunda entrevista com empresa gerenciadora de REEE ocorreu em 21 de junho de 2012, no escritório comercial localizado em Porto Alegre/RS, com duração aproximada de 40 minutos e tendo um de seus diretores como entrevistado. A sede da empresa fica em Cachoeirinha/RS, na região metropolitana da capital.

Inicialmente o entrevistado afirmou que as empresas veem a sustentabilidade apenas como um custo e não como uma oportunidade de negócios, de marketing de seus produtos. Faltam consciência e atitude ambiental das pessoas em geral.

Em sua opinião, a empresa que realiza a segregação do material é primordial para o processo de reciclagem, para fazer a destinação correta de cada tipo de resíduo. Para o processo de logística reversa, o entrevistado afirma que há necessidade de regular o transporte do REEE até o reciclador e definir mais pontos fixos de coleta, ampliando a rede. Para o entrevistado, usando suas próprias palavras, os “sucateiros são uma concorrência ilegal e injusta, não pagam impostos, não têm licenças e não têm controle de seus processos”. Acredita que o poder público deveria agir, fiscalizar e punir quem faz o recolhimento deste resíduo sem estas licenças. Além disso, afirma que “o governo não dá incentivos às empresas de reciclagem, são pequenas empresas e precisam arcar com juros elevados para ampliarem suas instalações ou comprar novos equipamentos”.

O entrevistado afirma que os fabricantes de eletroeletrônicos nem participam das reuniões para discussão da logística reversa. Acredita que algumas entidades que os representam participem dos grupos de discussões com o governo federal, como a Fecomércio/RS (Federação do Comércio de Bens e de Serviços do Estado do RS). Para ele, os fabricantes não vão pagar a conta e não têm interesse em montar redes de coleta de resíduos.

Uma dificuldade apontada pelo entrevistado é a falta de interesse da população em buscar as informações, que estão disponíveis na internet, sendo que os consumidores devem levar o resíduo ao local adequado e não ficar esperando ações do governo ou das empresas.

4.4 Consumidores

O grupo focado foi realizado no dia 31 de maio de 2012. A idade média dos participantes é 32 anos, sendo duas pessoas do sexo masculino e três do sexo feminino, todos residentes em Porto Alegre/RS. Em relação à escolaridade, uma pessoa tem curso técnico completo, duas tem curso superior completo e duas tem o curso de pós-graduação completo, atuando em áreas distintas: administração, engenharia, segurança pública, decoração e nutrição.

Todos os participantes foram acomodados de forma que pudessem visualizar os demais participantes. Para início do grupo focado foi apresentado, de forma sucinta, o tema e o objetivo do trabalho. Foi informado que os dados seriam gravados, mas que haveria sigilo e

que as imagens não seriam exibidas, apenas usadas para facilitar a transcrição dos assuntos discutidos.

Em seguida foi questionado o conhecimento que já possuíam sobre REEE. Os participantes disseram não saber o que fazer com os equipamentos que têm em casa e que não funcionam mais, como carregadores de celular, controles remotos, impressora, vídeo cassete, televisão antiga... Além disso, afirmam que ficam “com pena de descartar algo que ainda funciona”, pois acham que poderiam ser utilizado por outras pessoas.

Os participantes desconhecem a existência de postos de coleta deste tipo de resíduo em Porto Alegre e julgam que o descarte do REEE deve ser mais fácil e prático. Ter que sair de casa para levar o resíduo exige muito do consumidor, pois pode não ser algo fácil de carregar como pilhas e baterias. Acreditam que é papel do município, que já cobra para recolher os resíduos, facilitar este transporte/recolhimento.

Um dos participantes comentou que na Europa é diferente, sem mencionar qual o país, que as pessoas recebem dinheiro em troca do resíduo que pode ser reciclado e existem lixeiras específicas para cada tipo de resíduo. As pessoas depositam o material (garrafas, papel, etc) e recebem automaticamente o pagamento, “tipo máquina de refrigerante funcionando ao contrário”. Salienta que é até um atrativo turístico e que não há a burocracia daqui. Acha que a ideia de remunerar as pessoas pelos resíduos, por mais simbólico que seja, poderia ajudar a melhorar o correto descarte.

Somente um dos entrevistados conhece a nova política para resíduos sólidos (PNRS), mas não especificamente a parte que se refere aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, realizando a seguinte afirmação: “Sei que tem mais exigências para lâmpadas, pilhas e pneus do que para outros tipos de resíduos como papel, plástico e vidro”. Outro comentou que não conhece a política, mas já ouviu falar em logística reversa para produtos eletrônicos.

Em relação à responsabilidade de cada um na implantação da PNRS, os participantes do grupo focado acreditam que o governo deve fiscalizar o cumprimento da lei, dar incentivos para coletas corretas, fazer legislações, informar os consumidores e principalmente educar a população. Para os consumidores, falta disciplina e principalmente orientação para que saibam como descartar os REEE. Os fabricantes precisam ter processos bem definidos para o descarte e pensar em como recolher seus produtos, como transportar, o que “hoje é só mais um custo para as empresas”. Outro ponto destacado por um dos

participantes é o fato do Brasil ainda produzir produtos eletrônicos contendo chumbo, pois em outros países da Europa e na China o uso já está proibido e os mesmos fabricantes utilizam outro material.

A maioria dos participantes do grupo nem sabiam da existência de empresas gerenciadoras de REEE na região de Porto Alegre. Para eles, estas empresas devem recolher os equipamentos e viabilizar sua reutilização (conserto) e encaminhá-los para escolas e outras entidades carentes ou para artesanato.

Para o grupo, a grande dificuldade é a falta de interesse político para implementar esta política. A Europa criou exigências para proteger sua indústria. O governo não tem pensamento estratégico, “não pensa a longo prazo, só fica apagando incêndio”. Achem que não há pessoas qualificadas no governo para tratar o assunto, pois os cargos importantes (ministros, secretários, diretoria) são ocupados por pessoas que não tem o perfil técnico, são indicações políticas. Para os participantes, estas pessoas deveriam ter formação e experiência na área específica, como é exigido nos concursos públicos. Falta prioridade do governo para tratar da questão ambiental.

Já as empresas precisam definir seus processos, definir o fluxo correto dos resíduos, na opinião dos participantes, que afirmam “para reciclagem de eletrônicos falta tudo”. Faltam definir as responsabilidades, as regras, os processos, as empresas especializadas e, principalmente, falta vontade política.

O segundo grupo de consumidores é composto por adolescentes na faixa dos 15 aos 17 anos, cursando o ensino médio em uma escola estadual de Porto Alegre/RS. Em termos de gênero, foram 8 pessoas do sexo masculino e 12 do sexo feminino. Para este grupo foi apresentado o tema e o objetivo da pesquisa de forma sucinta, para não influenciar nas respostas, e foi proposto que respondessem um questionário.

Nas respostas apresentadas sobre o conhecimento sobre o REEE foi enfatizado o perigo do REEE para o meio ambiente e a necessidade de reciclagem ou reutilização deste resíduo. Uma das respostas chama a atenção para a fabricação dos produtos: “Acho que as pessoas deviam cuidar melhor do lixo e que as fábricas deviam criar algo eletrônico menos poluente”. Em relação ao conhecimento da nova política para resíduos sólidos, somente uma das pessoas disse já ter escutado algo, mas não tinha muitos conhecimentos.

O papel do governo, na opinião dos respondentes, é elaborar as leis, disponibilizar locais para recolhimento dos resíduos e reciclar os REEE. Nas respostas é salientado que os

consumidores precisam ser mais conscientes e “colocar o lixo no local certo”. Entretanto, uma das respostas remete para a questão do uso dos equipamentos por mais tempo, “para evitar que sejam jogados no lixo”. Já em relação aos fabricantes, somente uma resposta considera que estes devem dar mais informações sobre os produtos nas embalagens. Outra resposta enfatiza a necessidade de mais empresas deveriam aproveitar o material destes produtos e que seria interessante utilizar “equipamentos recicláveis”.

Foram poucas respostas dos adolescentes para a última questão, que perguntava sobre as dificuldades para implantar a nova política, mas a questão do descarte incorreto pelos consumidores foi citada. Também aparece como dificuldade a pouca divulgação e incentivo do governo. Uma das respostas isenta o consumidor e diz que “A dificuldade é do governo, dos fabricantes e das empresas de reciclagem”.

5 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO

A questão inicialmente formulada para os consumidores mostrou que, na visão dos participantes do grupo focado (adultos), o problema é não saber o que fazer com equipamentos que não funcionam ou que ainda funcionam, mas não pretendem mais utilizar. A Prefeitura de Porto Alegre/RS disponibiliza atualmente seis postos de coleta fixos para os REEE e implantou um sistema de coleta itinerante em 2014, com um caminhão a disposição da comunidade em dias e locais específicos da cidade para a coleta de REEE (PORTO ALEGRE, 2016). Mesmo assim, há dificuldade dos consumidores para levarem os EEE até estes locais para descarte, seja pelo peso, tamanho ou falta de transporte adequado. Além disso, os consumidores mostraram preocupação em descartar algo que ainda funciona e gostariam de ter a opção de doação para que estes equipamentos pudessem ser reutilizados.

Analisando as respostas dos adolescentes para a questão inicial, encontrou-se como resultado o apresentado na tabela 3.1, agrupando as respostas em categorias. Nota-se que estes consumidores percebem o REEE como poluidor e perigoso, mas ressaltam que a população deve fazer sua parte e descartar corretamente os resíduos nos locais adequados.

Em relação à PNRS, a maioria dos consumidores entrevistados nos dois grupos não demonstrou ter conhecimento sobre o que é exigido para EEE. Os representantes dos órgãos municipais entrevistados salientaram que a política precisará de complementos, de

acordos entre governo e fabricantes, para que possa ser realmente posta em prática. Esta opinião é a mesma da empresa fabricante de produtos eletroeletrônicos. Já os representantes das empresas gerenciadoras de REEE aguardam as definições para implantação da lei, pois isso pode significar um incremento nos seus negócios.

Tabela 3.1 – Categorização das respostas do grupo de consumidores adolescentes

Categoria	Citações
REEE perigoso ou poluente	8
Descarte correto dos REEE pela população	8
Necessidade de reciclagem ou reutilização	5
Responsabilidade dos fabricantes e produtos menos poluentes	2

Um dos objetivos deste artigo era conhecer a opinião de cada *stakeholders* a respeito das responsabilidades individualizadas no processo de logística reversa. O quadro 3.2 apresenta a compilação destas opiniões.

Quadro 3.2 – Opinião dos entrevistados sobre responsabilidades do processo de logística reversa para REEE

Papel de cada <i>stakeholder</i> para implementar a PNRS					
	Governo	Fabricante	Gerenciador de REEE	Consumidores	
Entrevistados	Governo	Educação da população Participar dos acordos setoriais	Participar dos acordos setoriais	Trabalhar em conjunto com o governo e fabricantes	Efetuar o correto descarte
	Fabricante	Regulação Fiscalização	Participar do processo Cumprir a lei	Profissionalização do setor	Consumo racional Efetuar o correto descarte
	Gerenciador de REEE	Incentivos Definição dos critérios	Participar do processo	Licenciamentos adequados ao serviço prestado	Efetuar o correto descarte
	Consumidores	Fiscalização Incentivos Educação da população	Definir formas de implementar a logística reversa Rever o processo produtivo	Recolher resíduos Reaproveitar ou reciclar	Consumo racional Efetuar o correto descarte

Segundo os entrevistados, o papel do governo para implementar a PNRS pode ser enquadrado como educador, regulador, fiscalizador e incentivador. É do governo a responsabilidade de educar a população para que esta saiba o que fazer com seu resíduo,

assim como ele precisa participar dos acordos setoriais e definir as regras para implantar a logística reversa para os EEE. Definidas as regras, cabe ao governo fiscalizar se estas estão sendo cumpridas e penalizar as contravenções. Ao mesmo tempo, o governo precisa incentivar as empresas fabricantes e gerenciadoras de REEE para que se organizem e se estruturam para atender a demanda de retorno dos produtos eletroeletrônicos e, também, avaliar a viabilidade de incentivar a instalação de uma empresa que recicle placas de circuito impresso no Brasil, uma vez que só existem empresas aptas para isso na Europa ou na Ásia.

Os fabricantes precisam participar da elaboração dos acordos setoriais, seja por participação própria ou através da participação de suas entidades representativas, o que é corroborado por Leite (2009) ao afirmar que a empresa que se antecipa à legislação pode colaborar na sua elaboração e torná-la compatível com as condições do setor e, assim, evitar perdas financeiras e manter-se competitiva. A ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica) participa ativamente da elaboração do acordo setorial, mesmo que os representantes da empresa fabricante de produtos eletroeletrônicos que participou da pesquisa não tivessem esta informação. A entidade demonstra preocupação com o transporte e dificuldades fiscais da logística reversa, pois o Brasil é um país com dimensão continental e haverá necessidade de transporte dos REEE para regiões onde existam empresas aptas para realizar este trabalho. Outro ponto levantado pela ABINEE é a questão da periculosidade do REEE, sendo que a entidade entende que este passa a ser considerado perigoso somente após a desmanufatura do equipamento. Também há preocupação com o financiamento da logística reversa e a ABINEE sugere que seja criada uma taxa para este fim que será paga pelo consumidor no momento da compra de um novo equipamento (ABINEE, 2016).

A questão da composição dos produtos eletroeletrônicos foi citada durante a realização do grupo focado com os consumidores adultos. A União Europeia elaborou a Diretiva RoHS (*Restriction of the Use of certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment*) que objetiva eliminar e/ou reduzir substâncias nocivas presentes nos EEE, como chumbo, cádmio, mercúrio, cromo e retardantes de chamas. Esta diretiva precisa ser atendida por todos os produtos importados para os países que pertencem à União Europeia (PARLAMENTO EUROPEU, 2015a). No trabalho realizado por Ruiz *et al.* (2011) um entrevistado afirmou que uma grande empresa de EEE situada no Brasil mantém linhas de produtos distintas para exportação, atendendo à Diretiva RoHS, e para mercado interno.

Na visão dos entrevistados, os gerenciadores de REEE precisam se profissionalizar e se preparar para atender a demanda crescente deste tipo de resíduo. É necessário que a empresa obtenha as licenças adequadas, que atenda as legislações trabalhistas, não expondo seus funcionários à riscos e que encaminhem os resíduos que não tenham condições de tratar para locais autorizados.

É muito importante salientar que, em relação aos consumidores, o papel citado por todos os *stakeholders*, inclusive pelos próprios consumidores, é o de fazer o correto descarte dos REEE, corroborando Gutiérrez *et al.* (2010) que afirmam que as metas mais importantes da logística reversa dependem, na prática, dos hábitos de descarte dos consumidores. Além disso, cabe aos consumidores avaliar se o seu consumo não está exagerado e realizá-lo de forma consciente.

Em relação às dificuldades que poderão ser encontradas para colocar em prática a nova política, pode-se destacar a questão do descarte consciente por parte do consumidor, citado por todos entrevistados. De fato, se o consumidor não encaminhar seu resíduo para o local correto, não há como fazer a logística reversa. Entretanto, cabe aos fabricantes/distribuidores e ao governo facilitar este descarte, divulgando e ampliando a oferta dos locais de coleta, criando campanhas educativas e informativas, etc. Enquanto a maioria considera que há dificuldades de acesso aos pontos de coleta e pouca informação aos consumidores, a segunda gerenciadora de resíduos entrevistada acredita que os consumidores não têm esta informação porque não a procuram, pois está disponível na internet.

Outro ponto de destaque é a questão da necessidade de definição do acordo setorial para os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. A logística reversa demandará uma nova estrutura das empresas, sejam elas fabricantes, distribuidores, comerciantes ou gestores de resíduos. É preciso definir como funcionará a operação, quem será responsável por cada etapa, da coleta à reciclagem/reaproveitamento, passando pela questão do transporte. Além disso, é preciso definir quais serão os custos desta operação e quem será responsável por eles.

Kojima, Yoshida e Sasaki (2009) observam que a dificuldade de identificação do produtor foi apresentada como o principal empecilho para implantação da responsabilidade estendida do produtor na China e na Tailândia. Aqui também foi citada como dificuldade a definição de como serão tratados os produtos importados, os contrabandeados e os que são imitações sem procedência. Os fabricantes não podem e não devem assumir a

responsabilidade sobre estes produtos. Cabe ao governo criar barreiras para impedir que produtos ilegais ou sem procedência entrem no país e arcar com os custos para tratamento adequado para os resíduos originados destes produtos quando estes forem descartados.

A Figura 3.2 mostra um esquema de atribuições e relacionamento entre os *stakeholders* para que o sistema de logística reversa dos REEE tenha sucesso. As atribuições de cada *stakeholders* são resultado da análise das entrevistas e do grupo focado realizados neste trabalho, bem como da revisão da literatura, conforme apresentado no Quadro 3.2. As linhas contínuas representam ações necessárias, enquanto as linhas tracejadas representam ações desejadas.

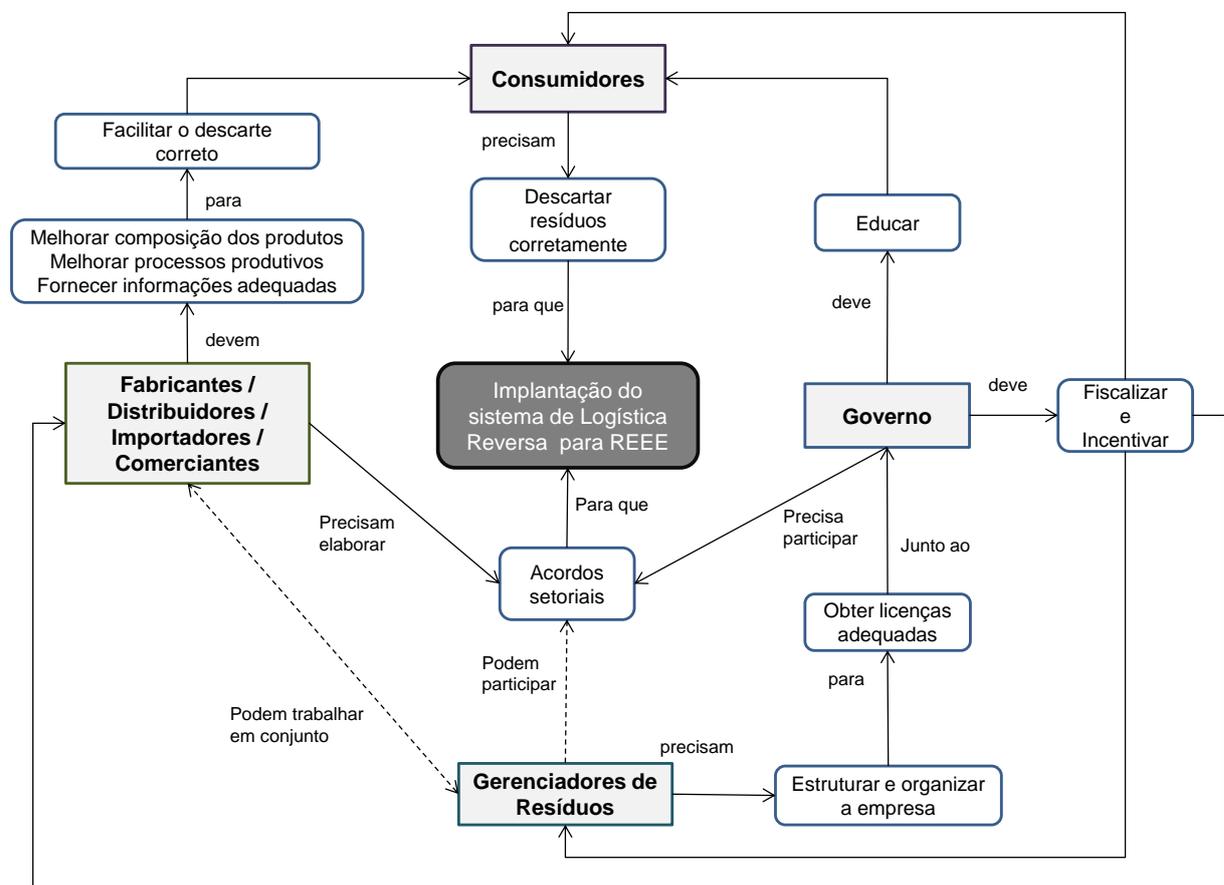


Figura 3.2 – Esquema de atribuições para implantação de logística reversa para REEE

No esquema percebem-se duas ações necessárias para a implantação da logística reversa para os REEE: o descarte correto dos resíduos por parte dos consumidores e a existência de um acordo setorial entre fabricantes/distribuidores/importadores/comerciantes e governo. O processo de logística reversa inicia-se com o correto descarte dos REEE por parte do consumidor, mas esta ação depende do trabalho de educação ambiental realizado pelo

governo e da oferta, por parte dos fabricantes, de boas estruturas de coleta e informações sobre o descarte dos produtos, hoje ainda deficientes. Entretanto, estas duas ações só ocorrem se as demais ações existirem. As linhas tracejadas mostram que é importante a participação das empresas gerenciadoras de REEE na elaboração do acordo setorial e na formação de parcerias com fabricantes, distribuidores, importadores e comerciantes, contribuindo para o correto tratamento destes resíduos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A publicação da PNRS foi um avanço na legislação ambiental brasileira, porém o desafio é sua implantação. No caso dos REEE há obrigação da logística reversa, sendo a responsabilidade compartilhada entre fabricante, distribuidor, importador e comerciante por todo o ciclo de vida dos produtos.

O governo tem papel fundamental neste processo, pois deve elaborar planos, definir regras e fiscalizar todo processo. Cabe ao governo ter uma abordagem mais agressiva para combater o contrabando e incentivar novas tecnologias para o mercado de reciclagem, conforme citam Bhutta, Omar e Yang (2011). O incentivo para pesquisas sobre matérias primas e processos produtivos menos poluentes na fabricação dos EEE, bem como sobre novas tecnologias de reciclagem e reaproveitamento de REEE, por parte do governo brasileiro, seria oportuno. Além disto, se houvesse incentivos para instalação de empresas especializadas no tratamento dos REEE e para fabricação de produtos que facilitassem a desmontagem/reciclagem ocorreriam benefícios ao meio ambiente, e, por consequência, ao ser humano.

O acordo setorial precisa definir qual o modelo de responsabilidades físicas e financeiras pela coleta de REEE, avaliando e adaptando modelos já adotados na União Europeia (UNEP, 2012) para a realidade brasileira. É importante definir se haverá cobrança de taxas específicas do consumidor para financiar o processo de logística reversa dos EEE na aquisição de novos produtos, bem como estabelecer metas de reciclagem e reutilização para cada tipo de EEE.

De forma geral, para o atendimento da PNRS no que se refere aos REEE é preciso definir como e onde os consumidores irão descartar seus resíduos, para onde os resíduos serão

encaminhados, o destino de cada material após a segregação e a responsabilidade pelo custeio deste processo. As atividades de reciclagem/reaproveitamento poderão contar com o apoio das empresas gerenciadoras de REEE, através de parcerias e convênios. Além disso, os fabricantes devem rever seus processos produtivos para eliminar ou minimizar o uso de substâncias perigosas e também para facilitar a desmontagem de seus produtos e possibilitar maior reutilização dos materiais.

REFERÊNCIAS

ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica**. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1362058667.pdf>. Acesso em: 28 mai 2015.

ABINEE. Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **Logística reversa: Acordo mais próximo**. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/noticias/com446.htm>>. Acesso em: 17 fev 2016.

ANGED. Agence Nationale de Gestion des Déchets. **Filière de gestion des déchets des équipements électriques et électroniques**. Disponível em: <http://www.anged.nat.tn/index.php?option=com_content&view=article&id=112&Itemid=242>. Acesso em: 17 fev 2016.

BHUTTA, M.K.S.; OMAR, A.; YANG, X. Electronic Waste: A Growing Concern in Today's Environment. **Economics Research International**. 2011. Article ID 474230.

BRASIL. Lei 12.305. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2010.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia Científica**. 6ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas em pesquisa social**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GUTIÉRREZ, E.; ADENSO-DIAZ, B.; LOZANO, S.; GONZALEZ-TORRE, P. A competing risks approach for time estimation of household WEEE disposal. **Waste Management**, v.30, p. 1643–1652, 2010.

HICKLE, G. T. Comparative Analysis of Extended Producer Responsibility Policy in the United States and Canada. **Journal of Industrial Ecology**, v. 17, n. 2. 2013.

HUISMAN, J.; *et al.*. **2008 Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)**. Bonn: United Nations University, 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2014/sintese_defaultxls.shtm>. Acesso em: 08 fev 2016.

KOJIMA, M.; YOSHIDA, A.; SASAKI, S. Difficulties in applying Extended producer responsibility policies in developing countries: case studies in e-waste recycling in China and Thailand. **J Mater Cycles Waste Manag.** N. 11, P. 263–269, 2009.

LEITE, P. R. **Logística Reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LEPAWSKY, J. Legal geographies of e-waste legislation in Canada and the US: Jurisdiction, responsibility and the taboo of production. **Geoforum.** n. 43. p.1194–1206. 2012

MAGALINI, F.; HUISMAN, J. Management of WEEE & Cost Models across the EU. **Proceedings of the 2007 IEEE International Symposium on Electronics & the Environment**. Maio 2007. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4222872&tag=1>.

MALHOTRA, Naresh. **Pesquisa de Marketing: uma orientação aplicada**. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Logística Reversa**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/instrumentos-da-politica-de-residuos/comite-orientador-logistica-reversa#eletroeletronicos>>. Acesso em 28 mai 2015.

NESREA. National Environmental Standards and Regulations Enforcement Agency. **Update on e-waste management in Nigeria**. Presentation made at 3rd Annual Meeting of the Global E-waste Management Network. San Francisco/USA, 2013;

NNOROM, I.C.; OSIBANJO, O. Overview of electronic waste (e-waste) management practices and legislations, and their poor application in the developing countries. **Resources, Conservation & Recycling.** N. 52, p. 843-858. 2008.

OLIVEIRA, C.R.; BERNARDES, A.M.; GERBASE, A. E. 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.

PARLAMENTO EUROPEU. **Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment**. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02011L0065-20150624>>. Acesso em: 18 out 2015(a).

_____. **Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)** Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32012L0019>>. Acesso em: 18 out 2015(b).

PORTO ALEGRE. **Resíduos Eletrônicos**. Disponível em: <www2.portoalegre.rs.gov.br/dmlu/default.php?reg=2&p_secao=184>. Acesso em: 20 jan 2016.

RELAC. **Plataforma Regional de Resíduos Eletrônicos em Latinoamérica y el Caribe**. Disponível em <<http://www.residuoselectronicos.net/>>. Acesso em: 29 jun 2012.

RUIZ, M.S.; CORTES, P. L.; TEIXEIRA, C.E.; AGUIAR, A.O. Diretiva RoHS: nova barreira técnica ambiental às exportações brasileiras? *Anais*. ENGEMA - Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 2011.

SALHOFER, S.; STEUER, B.; RAMUSCH, R.; BEIGL, P. WEEE management in Europe and China – A comparison. *Waste Management*, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.014>

SINIR. **Logística Reversa**. Atualizado em 13/03/2015. Disponível em: <<http://sinir.gov.br/web/guest/logistica-reversa>>. Acesso em: 28 mai 2015.

STHIANNOPKAO, S.; WONG, M. H. Handling e-waste in developed and developing countries: Initiatives, practices, and consequences. *Science of the Total Environment*. n. 463–464. p. 1147–1153. 2013.

UNEP. United Nation Environment Programm. **Recycling – From e-waste to resources**. United Nations Environment Programme & United Nations University, 2009.

_____. **E-waste - Volume III: WEEE / E-waste “Take-back system”**. United Nations Environment Programme & United Nations University, 2012

UNU-IAS. United Nations University – Institute for the Advanced Study of Sustainability. **eWaste in Latin America: Statistical analysis and policy recommendations**. Tokio/Japan, 2015.

WATH, S.B.; VAIDYA, A.N.; DUTT, P.S.; CHAKRABARTI, T. A roadmap for development of sustainable E-waste management system in India. *Science of the Total Environment*, n. 409, p. 19-32. 2010.

4 ARTIGO 3 - Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos: riscos e oportunidades

Waste electrical and electronic equipment: risks and opportunities

Submetido ao periódico

Engenharia Sanitária e Ambiental

Qualis B2 (Engenharia III) e A2 (Ciências Ambientais)

Resumo

Estima-se que a quantidade de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) aumente ano a ano, devido à obsolescência planejada, às alterações tecnológicas e às mudanças no estilo de vida das pessoas. O objetivo deste artigo é analisar o impacto da geração de REEE para trabalhadores, empresas e população em geral. A realização do trabalho consistiu em uma pesquisa bibliográfica seguida por três estudos de caso com empresas gerenciadoras de resíduos. Como resultado deste trabalho foi elaborado um quadro apresentando os riscos e as oportunidades dos REEE, considerando os pontos de vista ambiental, social e econômico. Do ponto de vista ambiental, há riscos do aumento do consumo destes equipamentos ampliar os descartes incorretos e ilegais, porém, com a implantação da logística reversa pode-se reduzir a extração de matérias primas não renováveis. Do ponto de vista econômico, os custos envolvidos na logística reversa dos REEE não são claramente conhecidos, entretanto, há um mercado em expansão para gerenciadores deste tipo de resíduos. Já do ponto de vista social, o risco é o aumento do trabalho informal e inseguro, que pode ser minimizado com investimentos na área pelo poder público e privado e gerar empregos formais.

Palavras-chave: Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos; REEE; riscos; oportunidades.

Abstract

It is estimated that the amount of waste electrical and electronic equipment (WEEE) increase year on year due to planned obsolescence, technological changes and changes in the people lifestyle. The objective of this paper is to analyze the impact of the generation of WEEE for workers, businesses and the general population. The realization of this work consisted in a bibliographic research followed by three case studies with companies of management waste. As a result of this work was produced a table shows the risks and opportunities of WEEE considering the viewpoints environmental, social and economic. From an environmental standpoint, there are risks of increased consumption of these equipments to expand the incorrect and illegal discards, however with the implementation of reverse logistics can reduce the extraction of non-renewable raw materials. From an economic point of view, the costs involved in reverse logistics of WEEE are not clearly known, however there is a growing market for managers of such waste. Already the risk of social standpoint is increase informal and insecure work, which can be minimized with investments in the area by the government and private companies and generate formal jobs.

Key words: Waste electrical and electronic equipment; WEEE; risks; opportunities.

1 INTRODUÇÃO

Os equipamentos eletroeletrônicos estão cada vez mais presentes na vida das pessoas. Na pesquisa realizada pelo IBGE, em 2013, nota-se que a maioria dos domicílios brasileiros possui televisores (97,16%), refrigeradores (97,21%) e máquinas de lavar roupa (57,46%) (ELETROS, 2015). Observando os dados da Anatel (2013) para a telefonia móvel, percebe-se um crescimento ainda maior: de 65,6 milhões de acessos em 2004 para 242,2 milhões de acessos em 2011, representando um crescimento de 270% em 8 anos. Se, por um lado, estes equipamentos trazem benefícios como conectividade e melhorias na comunicação, por outro lado, quando não servem mais para os usuários, seja pelo final de sua vida útil ou pela substituição por outro mais moderno, tornar-se-ão resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE).

Estudos realizados pela Universidade das Nações Unidas estimam que, em 2020, serão geradas aproximadamente 12 milhões de toneladas por ano deste tipo de resíduos na União Europeia (HUISMAN *et al.*, 2007). Conforme estimativas de Araújo *et al.* (2012), no Brasil são gerados 3,77 kg de REEE por habitante, por ano, considerando apenas sete tipos de equipamentos eletroeletrônicos mais comuns nas residências. Considerando a população brasileira informada pelo IBGE (2016) no Censo de 2010 (190.732.694 de pessoas) e a taxa de resíduos de Araújo *et al.* (2012), estima-se que são gerados mais de 719 milhões de kg de REEE por ano no país.

No Brasil já foram realizados alguns trabalhos sobre os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. Miguez (2007) avaliou os benefícios ambientais e econômicos da logística reversa aplicada a estes resíduos. Virgens (2009) realizou uma ampla pesquisa sobre as responsabilidades, interesses e obstáculos do processo de gestão dos REEE. Franco e Lange (2001) trabalharam para estimar o fluxo de REEE em Belo Horizonte/MG. Já Santos (2012) analisou as consequências ambientais, sociais e econômicas da gestão dos REEE.

Sendo assim, o artigo tem como objetivos analisar o impacto da intensificação do uso da tecnologia e da geração dos REEE para a população em geral e trabalhadores de associações e empresas de reciclagem, bem como levantar as possíveis oportunidades de negócios que poderão surgir da necessidade de tratamento e reciclagem destes resíduos. Com isso, será possível compreender o cenário atual da questão envolvendo os REEE no Brasil, especificamente no estado do Rio Grande do Sul.

2 RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS (REEE)

Durante a fabricação dos equipamentos eletroeletrônicos (EEE) são utilizados diversos componentes químicos, presentes nas matérias-primas, além de energia e água. Oliveira, Chiesi e Barbieri (2012) citam o caso da fabricação de chips que necessita de grande quantidade de água filtrada e destilada e que, ao final do processo produtivo, está contaminada com metais pesados e outras substâncias químicas nocivas. Metais pesados são elementos químicos reativos e bioacumuláveis, ou seja, se ingeridos, o organismo não consegue eliminá-los.

Após serem utilizados pelos consumidores, os EEE podem ser reutilizados, doados, reciclados ou descartados. Popularmente, os equipamentos que não possuem mais uso são chamados de lixo eletrônico (e-waste). Porém, a denominação lixo não parece ser apropriada, pois dá ideia de algo inútil e indesejável. Os resíduos destes equipamentos podem ser indesejáveis, mas não são inúteis, uma vez que podem retornar ao processo produtivo após a reciclagem ou serem reutilizados em aplicações diversas. Segundo Leite (2009), a redução do ciclo de vida dos produtos ocorre pela introdução de novos modelos, pelo uso de matérias primas menos duráveis e pela dificuldade técnica e econômica de conserto, por exemplo. Sendo assim, resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) ou *waste electrical and electronic equipment* (WEEE) são aqueles oriundos de equipamentos elétricos ou eletrônicos, seus componentes e seus periféricos.

As substâncias mais comumente encontradas nestes resíduos, segundo Oliveira, Chiesi e Barbieri (2012), são resina epóxi, fibra de vidro, PCB (Bifenilas policloradas), PVC (cloreto de polivinila), chumbo, estanho, cobre, silício, berílio, carbono, ferro e alumínio. Outros componentes são encontrados em quantidades reduzidas, como ouro, prata, titânio, arsênio, boro, cobalto, índio, lítio, manganês, selênio e platina.

Considerando a nocividade de alguns destes elementos químicos, o Parlamento Europeu criou a diretiva RoHS (*Restriction of the Use of certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment*) que objetiva eliminar e/ou reduzir certas substâncias presentes nos EEE, como chumbo, cádmio, mercúrio, cromo e retardantes de chamas (PBB - bifenis polibromados - e PBDE - bifenis polibromados éteres). Estas restrições são obrigatórias para comercialização e produção de equipamentos na União Europeia e é necessário apresentar certificações comprovando o atendimento à RoHS, o que tem impacto

no projeto e produção de equipamentos em vários países do mundo que exportam seus produtos para a região, inclusive no Brasil (EUROPEAN COMMISSION, 2012).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída no Brasil pela Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. Tem como princípios a visão sistêmica na gestão dos resíduos sólidos, o desenvolvimento sustentável, a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico, capaz de gerar renda, e com valor social, podendo gerar empregos e promover a cidadania (BRASIL, 2010).

No artigo 33 da PNRS é determinada a obrigatoriedade da instituição da logística reversa para produtos eletroeletrônicos e seus componentes, sendo que a responsabilidade por assegurar a implantação e a operacionalização deste sistema é dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes destes equipamentos. Entende-se por logística reversa um sistema (ações, procedimentos e meios) que tem por objetivo possibilitar o retorno de bens ou de seus materiais constituintes ao ciclo produtivo para reaproveitamento ou destinação adequada (BRASIL, 2010; LEITE, 2009).

Ainda no artigo 33 da PNRS é sugerida a atuação destes agentes em parcerias com cooperativas, associação de catadores e com o poder público. Já no artigo 42 é informado que o poder público poderá instituir medidas de incentivo e financiamento para o setor, visando, entre outros, a prevenção e a redução do volume de resíduos sólidos gerados no processo produtivo, o desenvolvimento de produtos menos agressivos ao ambiental e à saúde humana, aquisição de equipamentos para cooperativas e estruturação de sistemas de logística reversa (BRASIL, 2010).

O Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2015) criou em 2011 um Grupo Técnico de Trabalho para elaborar propostas de implantação da Logística Reversa na cadeia dos Eletroeletrônicos, visando a Elaboração do Acordo Setorial. O estudo de viabilidade técnico-econômica e análise da situação dos resíduos foram concluídos em novembro de 2012 (ABDI, 2015). Este estudo apresentou recomendações para implantação da logística reversa de REEE, identificando condições necessárias para esta implantação, como, por exemplo, a análise da periculosidade dos resíduos, a revisão da incidência de impostos na cadeia de reciclagem, a oferta de linhas de crédito para investimentos em empresas recicladoras e os incentivos à pesquisa na área. Este estudo de viabilidade foi aprovado em janeiro de 2013 pelo Comitê orientador para implantação de Logística Reversa (SINIR, 2015a).

Dando continuidade ao processo, o Edital para recebimento de Propostas de Acordos Setoriais foi publicado em fevereiro de 2013. Foram recebidas dez propostas até junho de 2013, sendo quatro consideradas válidas e que já passaram por negociação entre as partes para apresentação de uma proposta unificada em janeiro de 2014. As próximas etapas são a Consulta Pública e a Assinatura do Acordo Setorial (SINIR, 2015b), mas estas etapas ainda estão sem cronograma definido.

3 RISCOS E OPORTUNIDADES DOS REEE

Os REEE podem trazer problemas ligados ao meio ambiente e à sociedade, conforme Oliveira, Chiesi e Barbieri (2012). Em relação ao meio ambiente, estes resíduos podem causar danos ao solo, à água e ao ar. Quando os EEE são descartados de forma inadequada, as substâncias químicas tóxicas que constituem estes equipamentos podem afetar o solo e contaminar a água dos lençóis freáticos. Há riscos de contaminação do ar se houver incineração destes resíduos. Ainda do ponto de vista ambiental, os REEE podem representar um desperdício de recursos naturais não renováveis, uma vez que, se estes resíduos fossem reciclados, não haveria necessidade de extração de alguns metais, economizando as reservas naturais e energia necessária para a extração.

Ferreira e Ferreira (2008) salientam que os REEE podem causar doenças de pele, problemas respiratórios, prejudicar o sistema nervoso e reprodutivo e até mesmo causar doenças mais graves, como câncer. A maioria das pessoas desconhece o potencial negativo destes resíduos, sendo que há um mercado informal de reciclagem que maneja estes resíduos sem preocupação com a segurança das pessoas ou com a forma correta de coleta, armazenamento e estocagem. Os equipamentos de proteção necessários para trabalhar com REEE que contenham metais pesados, conforme Silva, Martins e Oliveira (2008), são: respirador facial, óculos, luvas, vestimenta adequada, calçado de segurança com bico de aço e capacete.

Outro problema é a marginalização dos catadores. Dejours (2006) afirma que o trabalho é uma fonte de paradoxos: pode ser alienante e emancipatório, trazer prazer e sofrimento. O trabalho é alienante quando a pessoa passa a tolerar, permitir e participar, mesmo que inconscientemente, de injustiças sociais, infrações às leis trabalhistas e trabalho

em péssimas condições de segurança, por exemplo. Desta forma, o trabalhador sofre por conviver com estas injustiças e pela ideia de não satisfazer as imposições da organização, de não atingir o desempenho esperado. Entretanto, o trabalho é emancipatório, pois quem tem trabalho consegue, via de regra, se sustentar, ter uma vida digna e ser reconhecido como cidadão, passa a ter identidade, o que pode lhe trazer prazer e realização social.

De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, o PNUMA, em torno de 90% dos REEE são negociados ou despejados em aterros de forma ilegal. Os grandes produtores destes resíduos no mundo são a Europa e a América do Norte, mas a Ásia apresenta grande crescimento na geração destes resíduos nos últimos anos. Já os destinos frequentes destes resíduos são Ásia e África, principalmente países como Gana, Nigéria, Costa do Marfim, República do Congo, China, Hong Kong, Paquistão, Índia, Bangladesh e Vietnã (PNUMA, 2015). Alguns países com legislações mais restritivas ou com maior poder aquisitivo exportam seus REEE, como “doação” ou equipamentos de “segunda mão”, para países da África e da Ásia, embora a Convenção da Basiléia tenha banido a exportação de lixo perigoso em 1992. Bhutta, Omar e Yang (2011) trazem uma informação que, em um levantamento em Nova Déli, na Índia, 70% do REEE foi importado de países desenvolvidos.

Na Nigéria existe um decreto local de 1988 proibindo a importação de substâncias perigosas, mas este não é cumprido. Os equipamentos chegam ao porto e os que estão em boas condições de uso são encaminhados para feiras livres (mercados). O país não tem capacidade para realizar operações de tratamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, sendo que os equipamentos importados sem condições de reaproveitamento são encaminhados à lixões, que não possuem controle das substâncias tóxicas, que podem facilmente se infiltrar nos lençóis freáticos e poluir o ar devido às queimadas. Além disso, os trabalhadores destas feiras e do porto ficam expostos, sem nenhuma proteção (MIGUEZ, 2007).

Agbogbloshie, um bairro da metrópole Accra, em Gana, conhecido por ser um dos maiores lixões do mundo de REEE, é o destino final dos EEE que não puderam ser vendidos ou aproveitados. O local foi incluído na lista do Instituto Blacksmith, dos Estados Unidos, entre os 10 lugares mais poluídos do mundo, devido aos gases tóxicos liberados pela queima dos aparelhos, visando a retirada de cobre e outros materiais com valor comercial. As

autoridades ganenses estimam que aproximadamente 250 mil moradores da região sejam afetados por esta poluição (THE CONVERSATION, 2015; CORREIO DO BRASIL, 2015).

A Alemanha reconhece ter uma parcela de responsabilidade na situação de Agbogbloshi. Em março de 2015, o governo alemão formulou um projeto de lei exigindo que os exportadores de EEE provem que os produtos ainda são úteis antes do embarque para outros países. Também estudam outras soluções para o problema, como inserir um depósito, ou taxa, no valor do aparelho na hora da compra e que será devolvido caso o consumidor se desfaça do aparelho em um estabelecimento autorizado (CORREIO DO BRASIL, 2015).

Essa concentração de REEE em países pobres, sem regulamentação, que não dispõe de infraestrutura adequada para realizar esta reciclagem, amplia o problema social nestes países. São pessoas subempregadas, sem condições dignas e trabalhando sem equipamentos de proteção em um ambiente insalubre.

No Brasil, os catadores também vivenciam esta situação. O levantamento sobre a situação dos catadores de materiais recicláveis, realizado pelo IPEA (2015), com dados de 2010, mostra que o analfabetismo atingia 20,5% dos catadores, sendo o índice brasileiro de 9,4% para a população em geral. O analfabetismo ou o pouco tempo de estudo limita as oportunidades profissionais e ascensão social destes trabalhadores. Também se percebe que a qualidade de vida é precária para muitos catadores, pois apenas 49,8% de suas residências têm esgotamento sanitário adequado (índice para população em geral é 66,7%). O rendimento médio dos catadores no Brasil era de R\$ 571,56, pouco acima do salário mínimo que era de R\$ 510,00 em 2010, e apenas aproximadamente 57% dos catadores afirmou contribuir para a Previdência Social, o que assegura benefícios como aposentadoria, auxílio doença, salário maternidade e outros. A nova Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) objetiva promover a inclusão social e a valorização do trabalho das cooperativas de catadores e empresas de reciclagem, porém ainda não há resultados práticos suficientes da necessária cooperação entre governo e empresas para alterar esta realidade (OLIVEIRA; CHIESI; BARBIERI, 2012).

Por outro lado, os REEE também podem significar oportunidades de negócios e de empregos, seja pela reciclagem, pelo reaproveitamento, pela implantação da logística reversa, etc. A reciclagem tem por finalidade aproveitar os resíduos e reutilizá-los novamente na produção de produtos similares ou em outras aplicações distintas. Shibao, Moori e dos Santos (2010) afirmam que estes materiais reciclados têm custos mais atraentes que os da

matéria prima original, podendo ser uma oportunidade para redução de custos da produção. Entretanto, para viabilizar a reciclagem ou o reaproveitamento, é preciso um processo de logística reversa eficiente para que os REEE sejam coletados, transportados e armazenados. O planejamento e o gerenciamento da logística reversa ainda são incipientes no Brasil, pois faltam procedimentos padronizados e formas de mensurar os custos envolvidos na atividade (SHIBAO; MOORI; DOS SANTOS, 2010).

Na mesma linha, Leite (2009) apresenta os benefícios ambientais e econômicos para implantação da logística reversa. Do ponto de vista ambiental, é esperado que ocorra a redução de descartes inseguros e ilegais, a diminuição da poluição, a economia de matérias primas e energia. Já do ponto de vista econômico, podem ser criados novos negócios e novas fontes de receitas através da comercialização de produtos secundários e resíduos, além de melhorar a imagem da empresa e possibilitar obtenção de financiamentos por esta ter procedimentos ecologicamente corretos.

A Prefeitura de Porto Alegre, num convênio com empresa gerenciadora de resíduos, realizou três feiras para descarte de resíduos tecnológicos na cidade até 2013. Nas duas primeiras edições foram arrecadadas mais de 40 toneladas de REEE e na terceira houve um grande aumento na arrecadação que chegou a 35 toneladas de resíduos. Estes resíduos são encaminhados para a empresa conveniada que é responsável pelo correto destino dos REEE (PORTO ALEGRE, 2013). Além disso, a Prefeitura disponibiliza 6 pontos fixos para coleta de REEE e realiza a Coleta Itinerante de Resíduos Eletrônicos, organizada pelo Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU), em parceria com empresa gerenciadora de resíduos e o Sindilojas (Sindicato dos Lojistas do Comércio de Porto Alegre). Desde agosto de 2014, todos os sábados, um caminhão fica estacionado em um dos três locais previamente definidos para coleta dos resíduos, tais como computadores, CPUs, monitores, teclados, cabos, estabilizadores e demais acessórios afins e eletrodomésticos obsoletos (PORTO ALEGRE, 2015). A ideia é que os resíduos sejam separados por uma cooperativa de moradores de rua, a Cooperativa de Trabalho Socioambiental Paulo Freire. Depois destas etapas os resíduos podem ser comercializados e geram renda e inclusão social para os cooperativados (ECOPROFETAS, 2015).

Na cidade de Porto Alegre, Brasil, Santos (2012) entrevistou os *stakeholders* da cadeia reversa dos REEE e citou o projeto da rede de colégios Maristas, em parceria com o Governo Federal, Hospital Conceição e Prefeitura de Porto Alegre, que criou o Centro de

Recondicionamento de Computadores (CRC Cesmar) em 2006, como mais um caminho para inclusão social e educação. O centro recebe doações de equipamentos de informática, principalmente de órgãos públicos, que serão desmontados, as peças são testadas e armazenadas. As peças que não têm condições de serem utilizadas são encaminhadas para uma empresa de gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos para o descarte adequado. As demais serão utilizadas para recondicionamento de computadores. O recondicionamento é realizado por alunos de baixa renda do programa Jovem Aprendiz, o que lhes garante bolsa auxílio e alimentação. Ao final do curso os alunos recebem o certificado do curso técnico, possibilitando sua melhor inserção no mercado de trabalho. Além disso, os equipamentos recondicionados serão utilizados por escolas públicas, entidades sociais e telecentros (equipamentos que ficam a disposição da comunidade), permitindo a inclusão digital da população atendida.

4 MÉTODO DE PESQUISA

Esta pesquisa foi desenvolvida em 5 etapas, conforme apresentado na figura 4.1. A primeira etapa da pesquisa foi o planejamento. Nesta fase foi definido o objetivo da pesquisa, a forma de coleta de dados, o tipo de instrumento que seria utilizado na coleta de dados, bem como a definição de que o público alvo da pesquisa seriam as empresas gerenciadoras de resíduos, cooperativas e associações de catadores, que trabalham com REEE.



Figura 4.1 – Método de trabalho

Na revisão da literatura, necessária em qualquer pesquisa, conforme Cerro, Bervian e da Silva (2007), foram consultados vários artigos, nacionais e internacionais, que abordavam o tema de resíduos eletroeletrônico, mais especificamente, os riscos e oportunidades ambientais, econômicas e sociais destes resíduos. Também foram consultados alguns sites de associações, agências e órgãos do governo, bem como alguns livros.

A elaboração do questionário para as entrevistas foi realizada na etapa de Coleta de dados. O questionário deve começar com perguntas gerais e não podem ser muito longos para não cansar o respondente, nem muito curtos, que impossibilite a análise adequada das respostas (MARCONI; LAKATOS, 2009). O questionário inicia com informações gerais sobre a empresa, como localização e número de funcionários. Em seguida são apresentadas questões abertas que solicitam informações acerca das etapas do processo de gerenciamento de resíduos realizado pela empresa, bem como se indaga a forma de contratação, treinamento e segurança dos funcionários e a visão de mercado da empresa em relação às oportunidades de negócios. O questionário encontra-se no Apêndice 4A.

O passo seguinte foi contatar cooperativas, associações e empresas de reciclagem através de e-mail que apresentava a pesquisa, informando o tema e os objetivos. A amostra utilizada foi não probabilística intencional. Segundo Mattar (1996), alguns critérios utilizados para seleção dos elementos de uma amostra não probabilística podem ser: sua localização, seu porte, a existência ou não de certos programas (qualidade, produtividade), o número de funcionários, o setor de atuação. Neste trabalho os critérios utilizados foram a localização da empresa (Rio Grande do Sul, pela conveniência para coleta de dados) e o tipo de reciclagem realizada, ou seja, a empresa selecionada deveria necessariamente trabalhar com reciclagem de equipamentos eletroeletrônicos. Com base em lista do CEMPRE (2013) e pesquisa na internet no site Google com as palavras de busca: reciclagem de eletrônicos RS, foram selecionadas as empresas que possuíam site e e-mail para contato e que estavam localizadas no RS. O questionário foi enviado para 10 empresas do Rio Grande do Sul (RS) no período compreendido entre dezembro/2012 e junho/2013, sendo que 3 empresas gerenciadoras de REEE enviaram suas respostas, identificadas neste trabalho como A, B e C.

Com isso, foi realizada uma análise multicase, que segundo Yin (2001), é uma estratégia para se examinar acontecimentos contemporâneos, mas que não permite realizar generalizações estatísticas, e visa descobrir os pontos de convergência e divergência das empresas estudadas. Para analisar e interpretar os dados foi realizada uma comparação das informações coletadas com dados constantes na literatura em trabalhos similares, como os de Santos (2012), Virgens (2009), Franco e Lange (2011), Míguez (2007) e Rodrigues (2007). Ao final do trabalho é construído um quadro contendo os principais resultados da pesquisa.

5 RESULTADOS

A empresa A está localizada na região metropolitana de Porto Alegre e tem como negócio a reciclagem de resíduos eletrônicos. Trata-se de uma pequena empresa, com 9 funcionários. O processo inicia-se com o contato com pessoas físicas e jurídicas para levantamento dos materiais disponibilizados para descarte e definição da forma de coleta e transporte do material até a empresa. Estes equipamentos são armazenados na empresa até a desmontagem, etapa que gera os resíduos que serão comercializados no mercado local ou no exterior (placas de circuito impresso). Estes resíduos são encaminhados para parceiros da empresa para reciclagem e retorno ao processo produtivo. O armazenamento dos produtos é realizado utilizando *bags* ou empilhando-os de forma ordenada, no caso dos monitores e CPU's. Após a desmontagem os materiais são colocados em *bags* ou caixas de papelão.

Os funcionários da empresa são selecionados através de entrevistas para avaliar se o perfil do trabalhador é compatível com a função. Inicialmente é feito um contrato de experiência de 30 dias. Os novos trabalhadores passam por treinamento realizado na própria empresa, ministrado pelo supervisor que mostra como desmontar e classificar os resíduos. Em relação aos equipamentos de proteção, os trabalhadores utilizam luvas, óculos, protetores auriculares e botina com bico de aço.

A empresa considera que com a implementação da PNRS “haverá um mercado mais regulamentado, reduzindo o mercado informal”, uma vez que as empresas e órgãos públicos precisarão de segurança e garantias do descarte correto dos equipamentos. Provavelmente haverá aumento na quantidade dos resíduos descartados e concentração destes resíduos nas empresas especializadas, o que deve levar a um crescimento no setor.

A segunda empresa gerenciadora de resíduos (empresa B) também está localizada na região metropolitana de Porto Alegre e trabalha com computadores, telefones, pilhas e baterias, diferenciando-se da maioria de seus concorrentes por atender apenas pessoas jurídicas. Trata-se de uma pequena empresa, com 6 funcionários.

O serviço prestado pela empresa inicia-se com a coleta dos resíduos eletrônicos na empresa contratante. Ao chegar à empresa, os resíduos são pesados e desmontados, sendo separados conforme o tipo em recipientes específicos: plástico, metal ferroso, metal não ferroso, pilhas/baterias e placas de circuito impresso. Há uma etapa de moagem do plástico e de danificação de *Hard Disk* (HD) e aparelhos celulares, para evitar uso de dados

indevidamente. Segundo a empresa, seu papel é “destinar corretamente cada um dos resíduos e acompanhar o processo até que estes resíduos se tornem matérias primas para novos produtos”. O plástico e os metais são enviados para empresas no RS, as pilhas e baterias para uma empresa especializada que fica em Suzano/SP e as placas de circuito impressos são enviadas para Cingapura. O armazenamento dos materiais é realizado em *bags* e caixas de papelão e de plástico, conforme o tipo de material. Há áreas segregadas para cada tipo de resíduo, já que há necessidade de acumular determinadas quantidades para que os materiais sejam enviados para as empresas de reciclagem.

Os funcionários utilizam luvas e uniforme, com sapatos fechados, em todas as etapas do processo. Em parte do processo utilizam óculos e protetores auriculares. Em relação à proteção coletiva, todas as áreas da empresa são demarcadas com faixa amarela e placas indicando o que deve ser colocado em cada área de armazenamento. Há uma área isolada para baterias e pilhas e outra cercada e com identificação de acesso restrito. A empresa seleciona os funcionários através de entrevistas e os treinamentos são realizados internamente, ministrados por profissional mais experiente ou supervisor. Há preocupação da empresa em verificar como as empresas que recebem estes resíduos já separados operam (condições de trabalho e processos), motivo que leva a visitas periódicas aos seus parceiros de negócio para avaliar estes pontos.

A empresa B acredita que a PNRS sendo regulamentada deverá ocorrer crescimento no setor de reciclagem de eletroeletrônicos. Além disso, haverá redução do mercado informal, porque será necessário comprovar que foram dadas as destinações ambientalmente corretas para os equipamentos e somente empresas legalizadas poderão ter as licenças ambientais necessárias e fornecer estes certificados.

A terceira empresa (empresa C) está localizada na região serrana do Rio Grande do Sul e possui 7 colaboradores. A empresa realiza a coleta no local informado pelo cliente, conforme agendamento prévio por e-mail ou telefone, e transporta os resíduos até sua sede. Na entrada do material na empresa é feita a sua classificação e verificado seu peso. Na sequência é realizada a desmontagem dos equipamentos, sendo o material estocado em pallets, caixas ou *big bags*. Conforme o tipo de material, realiza-se a descontaminação. Após este processo é encaminhado para empresas específicas de reciclagem para cada material.

A formação dos funcionários da empresa C é ensino médio completo e estes possuem conhecimentos em operação de ferramentas, sistemas de gestão ambiental e

experiência profissional anterior de pelo menos um ano. Os funcionários recebem treinamento a respeito do manuseio, armazenamento e carregamento de resíduos industriais, utilizam EPI's como luvas, óculos de segurança, máscara com válvula, sapatos e jalecos industriais e capacetes. Em relação à proteção coletiva, a empresa dispõe de ventilação nos locais de trabalho, corrimão e guarda corpo em escadas, fitas sinalizadoras, antiderrapantes em degraus, piso antiderrapante e extintores de incêndio.

A empresa acredita que, no Brasil, para implementar a logística reversa para os EEE, haverá a criação de um sistema de consórcio, similar ao crédito de carbono, onde fabricantes e importadores “comprarão crédito de lixo eletrônico das empresas que realizam esta logística reversa” conforme legislação.

6 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em relação ao processo das empresas entrevistadas, analisando as respostas nota-se que estes processos internos das gerenciadoras de REEE são similares. A figura 4.2 apresenta um esquema deste processo.

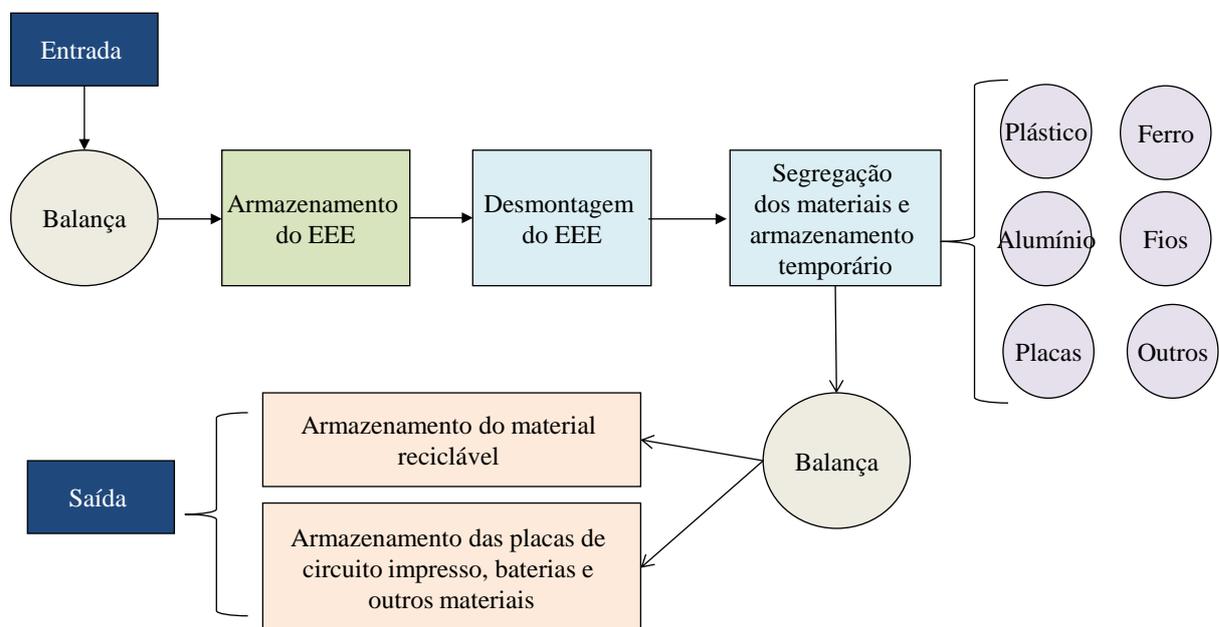


Figura 4.2 – Etapas básicas do processo de gerenciamento de REEE

No trabalho realizado por Rodrigues (2007), que entrevistou empresas de reciclagem e sucateiros em 2005 e 2006, foi comentado que o mercado de REEE é pouco

atraente e não lucrativo. Uma empresa salientou que este tipo de resíduo necessita de mão de obra especializada para desmontagem. Também houve evidências da falta de comprometimento ambiental de algumas empresas, que informaram destinar os resíduos ao serviço público de limpeza.

Ao se observar as respostas das empresas participantes desta pesquisa, a visão do mercado é distinta. As três empresas acreditam que haverá crescimento no setor de gerenciamento de REEE, redução do mercado informal e incremento nos negócios, ocasionados pela promulgação da PNRS em 2010. Este resultado também é apresentado por Santos (2012). Note-se que quando foi realizada a pesquisa de Rodrigues (2007) a política tramitava no congresso nacional há muitos anos, sem perspectivas reais de aprovação, o que justifica a falta de atratividade do setor na época.

E essa nova realidade do setor fez com que o CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem), uma associação sem fins lucrativos, dedicada à promoção da reciclagem e mantida por empresas privadas de diversos setores, criasse um comitê para discutir a questão dos REEE. A organização salienta que a reciclagem destes equipamentos necessita tecnologias mais complexas e caras. Também salienta que existe muita informalidade neste mercado, que comercializa produtos para reuso e também descarta irresponsavelmente estes resíduos. Outro fator importante é a relação que os consumidores têm com os produtos eletroeletrônicos, valorizando estes equipamentos e os armazenando, imaginando que poderão ser úteis no futuro (CEMPRE, 2013).

Em relação aos riscos para a saúde dos trabalhadores, Rodrigues (2007) afirma que nem todas as empresas entrevistadas utilizam adequadamente os equipamentos de proteção individual (EPI) ou apresentam um ambiente de trabalho adequado. No trabalho realizado por Santos (2012), uma das empresas gerenciadoras de resíduos entrevistada afirma que seus funcionários utilizam EPI's, mas apresenta um local de armazenagem dos REEE desorganizado. No entanto, as três empresas participantes desta pesquisa demonstram preocupação com os EPI's dos trabalhadores, citando itens de segurança apresentados por Silva, Martins e Oliveira (2008), como mostrado no Quadro 4.1. Com a proteção coletiva, as empresas operam em locais amplos e arejados, segregando os materiais mais agressivos em áreas isoladas e devidamente sinalizadas.

Nas empresas legalmente formalizadas não há problemas da mesma gravidade que no mercado informal. Os catadores, segundo Silva, Martins e Oliveira (2008), normalmente

são pessoas excluídas do mercado de trabalho, sem instrução e com renda muito baixa. Estas pessoas coletam os resíduos que lhe interessam antes da passagem dos caminhões da coleta pública ou nos lixões. Este trabalho é insalubre, pois há riscos destas pessoas contraírem doenças ou se machucarem ao revirarem o lixo, ao transportarem alguns tipos de REEE sem segurança e, principalmente, ao manipularem estes resíduos para extrair os materiais com maior valor comercial.

Quadro 4.1 – Comparação entre empresas gerenciadoras de REEE

Itens	Empresa A	Empresa B	Empresa C
Seleção de funcionários	Entrevistas	Entrevistas	Entrevistas Exige ensino médio e experiência anterior
Treinamento	Na própria empresa	Na própria empresa	Na própria empresa
Uso de EPI	Luvas, óculos, protetores auriculares e botina de bico de aço	Luvas, uniforme, sapato fechado, óculos e protetores auriculares	Luvas, óculos, máscara, sapatos fechados, jalecos industriais e capacetes

Franco e Lange (2011), que realizaram um trabalho de pesquisa para avaliar o fluxo dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos em Belo Horizonte/MG, entrevistaram consumidores, depósitos de resíduos, cooperativas e organizações não governamentais. Os depósitos de resíduos visitados pelas pesquisadoras mostraram que estão despreparados para trabalhar com REEE, aspecto salientado numa fotografia de uma pessoa desmontando um motor elétrico para retirada do cobre sentado em um local inadequado e sem todos os EPI's necessários. Entrevistando um trabalhador de uma cooperativa houve o relato de que, para retirar o cobre de um tubo de raios catódicos, eles colocam o tubo em um saco plástico, envolvendo o conjunto com uma lona, quebram o vidro, esperam “a poeira baixar, pois faz mal para a saúde”, retiram o material que lhes interessa e enviam o vidro (contaminado) para reciclagem. As cooperativas recebem estes resíduos geralmente de empresas, que transferem seu passivo ambiental sem qualquer responsabilidade.

A redução deste mercado informal é um benefício social esperado com a implementação da logística reversa para os EEE. Percebe-se que as três empresas desta pesquisa são formalizadas e contratam trabalhadores seguindo a legislação trabalhista brasileira, fornecendo treinamentos internos para qualificação do trabalhador e oferecendo condições adequadas de trabalho, diferentemente do apresentado por Franco e Lange (2011).

Com base nas informações das empresas entrevistadas e na revisão da literatura foi elaborado o resumo do Quadro 4.2, que evidenciam que o objetivo deste trabalho foi atingido. A ideia foi organizar os riscos e oportunidades dos REEE do ponto de vista ambiental, econômico e social.

Quadro 4.2 – Riscos e Oportunidades dos REEE

	Riscos	Oportunidades
Ambiental	Aumento dos descartes incorretos ou ilegais, resultado de: (a) Menor ciclo de vida dos produtos e, conseqüentemente, maior volume de equipamentos eletroeletrônicos sem uso; (b) Falta de informação e de educação ambiental para a população; (c) Escassez de pontos de coleta.	Redução da poluição e do descarte incorreto dos REEE, bem como redução do volume de lixo nos aterros, como resultado de: (a) Melhoria da conscientização da população; (b) Implantação da logística reversa pelo setor.
Econômico	Custo não totalmente conhecido para implementação da logística reversa para REEE, mas o setor o considera alto e este é um dos entraves para a implantação da logística reversa.	Novos negócios oriundos da implementação da logística reversa. Possível economia na aquisição de matérias primas recicladas ou reaproveitadas. Possibilidade de incentivo à inovação para desenvolvimento de novos produtos menos agressivos ao meio ambiente.
Social	Continuidade do trabalho informal e sem segurança no setor de reciclagem; Desconhecimento do risco envolvido no manuseio, transporte e armazenamento de REEE.	Ampliação do mercado de reciclagem, com o objetivo de comprovar a correta destinação dos resíduos para atendimento da legislação. Ampliação de empregos formais no setor de reciclagem, contribuindo para a melhoria das condições de vida dos trabalhadores.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tema abordado neste trabalho é atual e tem gerado discussões no meio acadêmico e empresarial. A repercussão da aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos é visível no setor, que busca alternativas para atendê-la.

Ocorre que há dificuldade em implantá-la, pois não há modelo definindo de como funcionará, na prática, a logística reversa. Há esforços sendo empreendidos pelo governo e pela sociedade. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elaborou a NBR 16156:2013 intitulada “Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos — Requisitos para atividade de manufatura reversa” com o objetivo de proteção do meio ambiente e controle de

riscos de segurança e saúde no trabalho aplicável a organizações que realizam manufatura reversa de resíduos eletroeletrônicos (ABNT, 2013). O Acordo Setorial está sendo coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente e conta com envolvimento da sociedade e entidades representativas dos envolvidos na logística reversa (SINIR, 2015b). Podem-se citar algumas cidades do Rio Grande do Sul, além da capital Porto Alegre, onde as prefeituras participam de campanhas para coleta dos REEE: Alegrete (2016), Canoas (2016), Farroupilha (2016), Pelotas (2016) e Santo Ângelo (2016).

O envolvimento da população com a correta destinação dos REEE precisa ser estimulado, através de atividades ligadas à educação ambiental e campanhas publicitárias. Há muito que fazer para implementar a PNRS e há obrigações para todos os envolvidos: governo, fabricantes, distribuidores, comerciantes, empresas gerenciadoras de resíduos e população. Há necessidade de conhecer os custos envolvidos, o real impacto ambiental e social da geração crescente destes resíduos, quais ações podem ser tomadas para minimizar estes impactos, como será operacionalizada a coleta, como facilitar o descarte correto pela população, etc.

Do ponto de vista social, ainda há muita informalidade no setor, com catadores trabalhando em condições insalubres e desumanas. O ponto positivo é o aumento de empresas gerenciadoras de resíduos, legalmente instaladas, nos últimos anos. Em geral, estas empresas trabalham com mão de obra regularizada, com treinamento e que utilizam equipamentos adequados para realizar o trabalho, como as três empresas que participaram da pesquisa. Também nota-se o aumento da preocupação do governo e da população em relação ao assunto, com criação de campanhas e ampliação da coleta destes resíduos.

O cenário apresentado nos dias atuais parece mais otimista, do ponto de vista ambiental, social e econômico, do que o anterior à promulgação da PNRS. Embora existam riscos que precisam ser minimizados, já existem ações sendo implantadas que começam a dar resultados.

No futuro seria interessante dar continuidade às entrevistas, focando em cooperativas de catadores, com o objetivo de obter mais informações e possibilitar a comparação com os dados já obtidos. O acompanhamento do setor após a implementação do acordo setorial, verificando as alterações que surgirão nas empresas do setor e no comportamento dos consumidores também é uma possibilidade de continuidade desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos - Análise de Viabilidade Técnica e Econômica**. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1362058667.pdf>. Acesso em: 28 mai 2015.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos – Requisitos para atividade de manufatura reversa**. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br>>. Acesso em: 10 out 2013.

ALEGRETE. **Neste mês, inicia campanha de recolhimento de lixo eletrônico**. Disponível em: <<http://alegretetudo.com.br/em-outubro-inicia-campanha-de-recolhimento-de-lixo-eletronico/>>. Acesso em: 07 fev 2016.

ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações. **Números do Setor**. Disponível em: <<http://anatel.gov.br>>. Acesso em: 7 jan 2013.

ARAÚJO, M.G.; MAGRINI, A.; MAHLER, C.F.; BILITIEWSKI, B. A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil. **Waste Management**. v. 32, p. 335–342, 2012.

BHUTTA, M.K.S.; OMAR, A.; YANG X. Electronic Waste: a growing concern in today's environment. **Economic Research International**. v. 2011. Id 474230. 8 pages.

BRASIL. **Lei nº 12.305. Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2 ago 2010.

CANOAS. **Canoas organiza Campanha de Recolhimento de Resíduos Eletrônicos**. Disponível em: <<http://www.canoas.rs.gov.br/site/noticia/visualizar/idDep/16/id/2594>>. Acesso em: 07 fev 2016.

CEMPRE. **Compromisso Empresarial para reciclagem**. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br/ComiteEletronicos.php>>. Acesso em: 7 jan 2013.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia Científica**. 6ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CORREIO DO BRASIL. **ONU alerta contra aumento de lixo eletrônico**. Disponível em: <<http://correiodobrasil.com.br/meio-ambiente/energia/onu-alerta-contr-aumento-de-lixo-eletronico/761433/>>. Acesso em: 01 jun 2015.

DEJOURS, C. **A banalização da injustiça social**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.

ECOPROFETAS. **Moradores de rua de Porto Alegre reciclam seis toneladas de eletroeletrônicos por mês com apoio técnico do EcoProfetas**. Disponível em: <<http://www.ecoprofetas.org.br/2015/01/moradores-de-rua-de-porto-alegre.html>>. Acesso em: 28 mai 2015.

ELETROS. **Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos**. Disponível em: <<http://www.eletros.org.br/portal.php/estatisticas>>. Acesso em 17 mai 2015.

EUROPEAN COMMISSION. **Legislação**. Disponível em: <www.ec.europa.eu>. Acesso em: 22 dez 2012.

FARROUPILHA. **Campanha de Coleta de Lixo Eletrônico**. Disponível em: <<http://farroupilha.rs.gov.br/novo/meio-ambiente/campanha-de-coleta-de-lixo-eletronico/>>. Acesso em: 07 fev 2016.

FERREIRA, J.M.B.; FERREIRA, A.C. A sociedade da informação e o desafio da sucata eletrônica. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**. v. III, nº 3, p. 157-170, 2008.

FRANCO, R.G.F.; LANGE, L.C. Estimativa do fluxo dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. **Eng Sanit Ambient**. v.16. n. 1. p. 73-82. jan/mar 2011.

HUISMAN J.; *et al.* **Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)**. Bonn: United Nations University, 2007.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acesso em 05 mar 2016.

IPEA. **Situação social dos catadores e catadoras de material reciclável e reutilizável – Região Sul**. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=19733>. Acesso em 17 mai 2015.

LEITE, P.R. **Logística Reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. **Técnicas de pesquisa**. 7ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de Marketing**. Edição Compacta. São Paulo: Atlas, 1996

MIGUEZ, E.C. **Logística Reversa de Produtos Eletrônicos: benefícios ambientais e financeiros**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2007.

OLIVEIRA, L.H.; CHIESI, F.K.; BARBIERI, J.C. Manufatura reversa e gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos: o Caso da Oxil. In: *XXIII ENANGRAD – Encontro Nacional dos Cursos de Graduação em Administração*. **Anais**. Bento Gonçalves, 2012.

PELOTAS. **Lixo eletrônico pode ser entregue no Mercado Central**. Disponível em: <<http://www.pelotas.rs.gov.br/noticias/detalhe.php?controle=MjAxNS0wNi0xNg==&codnoticia=39235>>. Acesso em: 07 fev 2016.

PNUMA. **Illegally Traded and Dumped E-Waste Worth up to \$19 Billion Annually Poses Risks to Health, Deprives Countries of Resources, Says UNEP Report**. Disponível em: <<http://www.unep.org/chemicalsandwaste/hazardoussubstances/News/PressRelease/>>

tabid/425/language/en-US/Default.aspx?DocumentID=26816&ArticleID=35021&Lang=en>. Acesso em: 29 mai 2015.

PORTO ALEGRE. **Coleta itinerante de resíduos eletrônicos**. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmlu/default.php?p_secao=192>. Acesso em: 28 mai 2015.

_____ **Arrecadação recorde na feira de descarte contabiliza 35 toneladas**. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmlu/default.php?p_noticia=153155&ARRECADACAO+RECORDE+NA+FEIRA+DE+DESCARTE+CONTABILIZA+35+TONELADAS>. Acesso em: 27 mai 2013.

RODRIGUES, A.C. **Impactos socioambientais dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: estudo da cadeia pós-consumo no Brasil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Metodista de Piracicaba/SP. 2007.

SANTO ÂNGELO. **Sema e Sindilojas realizam Campanha de Recolhimento de Lixo Eletrônico**. Disponível em: <http://demo.abase.com.br/pcm_pmsantoangelo/VisualizaNoticia.aspx?ID=9423>. Acesso em: 07 fev 2016.

SANTOS, C.A.F. dos. **A gestão de resíduos eletroeletrônicos e suas consequências para a sustentabilidade: um estudo de múltiplos casos na região metropolitana de Porto Alegre**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Administração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

SHIBAO, F.Y; MOORI, R.G.; DOS SANTOS, M. R. A logística reversa e a sustentabilidade empresarial. In: XIII SemeAd – Seminários em Administração (FEA–USP). **Anais**. Set 2010.

SILVA, B.D.; MARTINS, D.L.; OLIVEIRA, F.C. **Resíduos Eletroeletrônicos no Brasil**. Disponível em: <http://lixoeletronico.org/system/files/lixoeletronico_02.pdf>. Acesso em: 10 jan 2013.

SINIR. **Deliberações do Comitê Orientador**. Disponível em: <<http://sinir.gov.br/web/guest/deliberacoes-comite-orientador>>. Acesso em: 28 mai 2015a.

_____ **Logística Reversa**. Atualizado em 13/03/2015. Disponível em: <<http://sinir.gov.br/web/guest/logistica-reversa>>. Acesso em: 28 mai 2015b.

THE CONVERSATION. **Beyond recycling: solving e-waste problems must include designers and consumers**. Disponível em: <<http://theconversation.com/beyond-recycling-solving-e-waste-problems-must-include-designers-and-consumers-41719>>. Acesso em: 29 mai 2015.

VIRGENS, T.A.N. **Contribuições para a Gestão de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos: Ênfase nos Resíduos Pós-consumo de Computadores**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana. Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica. 2009.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

APÊNDICE 4A - QUESTIONÁRIO

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO

Nome da Organização			
Cidade		UF:	
Segmento de atuação			
Nº de colaboradores			
Cargo do responsável pelo preenchimento:			

1. O processo de gerenciamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos inicia-se com o descarte correto por parte da população em geral e empresas. Em relação a este processo:
 - a. Quais as principais etapas do processo que envolve os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos na sua organização? Descreva sucintamente o processo.
 - b. Como os equipamentos são armazenados ao chegarem à organização e após o processo?
2. Em relação aos colaboradores que trabalham com os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos:
 - a. Como é realizada a seleção destes colaboradores?
 - b. Existe algum treinamento específico realizado por estes colaboradores?
 - c. Quais os equipamentos de proteção individual e coletiva que são utilizados durante todo o processo?
3. As legislações a respeito dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos estão cada vez mais impondo condições e obrigações aos fabricantes, comerciantes e distribuidores destes equipamentos. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos exige a implementação da logística reversa para este tipo de resíduo. Que oportunidades de negócios poderão surgir com a regulamentação desta política?

5 ARTIGO 4 - Diagnóstico de indústrias de equipamentos eletroeletrônicos do Rio Grande do Sul em relação aos impactos ambientais e sistema de logística reversa

Diagnosis of electronics equipment industries of Rio Grande do Sul in relation to environmental impacts and reverse logistics system

Artigo será submetido ao periódico

Revista Brasileira de Ciências Ambientais

Qualis B1 (Ciências Ambientais)

Resumo

A indústria de equipamentos eletroeletrônicos (EEE) do Rio Grande do Sul (RS) tem grande representatividade no mercado brasileiro. A preocupação com os impactos ambientais da produção tem aumentado nas últimas décadas e, em 2010, foi aprovada, no Brasil, uma lei que exige a implantação de logística reversa para os EEE. O objetivo deste artigo é avaliar como as indústrias de EEE do RS estão agindo para redução do impacto ambiental de sua produção e como estão se organizando para atender a legislação no que se refere aos resíduos destes equipamentos ao final de sua vida útil. O estudo foi realizado com 19 indústrias de EEE situadas no RS em 2015. O instrumento de coleta de dados foi um questionário que utiliza a escala Likert para avaliar as empresas em relação aos processos produtivos, produtos, informações aos consumidores e Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS). Para análise dos dados utilizou-se as frequências absolutas, os coeficientes de correlação de Spearman e o índice geral IG_k . Como resultados, para as empresas participantes, pode-se ressaltar que: (i) Estão preocupadas com seus processos produtivos e já realizam ações para minimizar o impacto da produção; (ii) Ainda não existem ações efetivas para alteração da composição dos produtos restringindo substâncias perigosas; (iii) As informações sobre o descarte do produto disponibilizadas para os consumidores são insuficientes; (iv) O sistema de logística reversa não é realidade da maioria destas empresas; e (v) O índice geral mostrou que a maioria das empresas encontra-se em fase intermediária da redução dos impactos ambientais de seus processos e produtos.

Palavras-chave: Equipamentos Eletroeletrônicos, EEE, Indústria, RS

Abstract

The electronic equipment industries of Rio Grande do Sul (RS) have great representation in the Brazilian market. Concern about the environmental impacts of the production has increased in recent decades and in 2010 Brazil approved a law that requires the deployment of reverse logistics for electronic equipment. The purpose of this article is to understand and assess how the EEE industries located at RS are acting to reduce the environmental impact of its production and how they are organized to meet legislation with regard to residues of this equipment at the end of its useful life. The study was conducted with 19 Electronic equipment industries situated in the RS in 2015. The data collection instrument was a questionnaire using the Likert scale to assess companies in relation to production processes, products, consumer's information and National Policy of Solid Waste (PNRS). For data analysis we used the absolute frequencies, correlation coefficients of Spearman and the general index IG_k . For the participating industries, the results that can be noted are: (i) They are concerned about their production processes and have carried out actions to minimize the impact of production; (ii) No effective action to change the product composition restricting hazardous substances; (iii) Available Information about the product disposal to consumers are insufficient; (iv) The reverse logistics system is not actual for the majority of these companies; and (v) The general index showed that the majority of companies surveyed is in an intermediate stage of reducing the environmental impact of its processes and products.

Key words: Electric and Electronic Equipment; EEE; Industry, RS

1 INTRODUÇÃO

As indústrias do setor eletroeletrônico têm como características o alto conhecimento técnico e a mão de obra qualificada, além da necessidade de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D). Este setor, segundo Gutierrez e Alexandre (2003), é dinâmico, inovador e compreende vários segmentos, como telecomunicações, bens eletrônicos de consumo e informática. Bampi (2009) afirma que, na década de 1996 a 2006, a taxa de crescimento da produção no setor atingiu 7% a.a., enquanto o PIB (produto interno bruto) mundial cresceu cerca de 3% a.a.

As principais empresas do setor estão concentradas na China, na Europa, nos Estados Unidos e no Japão (BAMPI, 2009). Em 2008, a China respondia por 26% da produção mundial de eletrônicos, mesmo sem possuir marcas importantes, mas sendo a sede de produtores de televisores e equipamentos de áudio e vídeo e possuindo as linhas de produção de grandes fabricantes mundiais. A Europa, no mesmo ano, era responsável por 22% da produção, contando com empresas reconhecidas como a francesa Thomson, a holandesa Philips e a alemã Siemens. Já os Estados Unidos tiveram 18% e o Japão, 15% de participação na produção de eletrônicos em 2008 (BAMPI, 2009).

No Brasil, a formação do complexo eletrônico teve início na década de 1950, com o crescimento do mercado interno que demandou a fabricação local de componentes, conforme Gutierrez e Alexandre (2003). Entretanto, Sperotto (2014) afirma que, hoje, grande parte da produção industrial se resume a montagens de *kits* de componentes importados, o que afeta a balança comercial do setor negativamente e é resultado do atraso tecnológico (período de reserva de mercado) e da inexistência de políticas públicas efetivas para o desenvolvimento do setor.

Em 2014, as indústrias do setor eletroeletrônico brasileiro faturaram mais de R\$ 153 milhões, entretanto reduziram sua produção física em torno de 5% em relação ao ano anterior. Deste faturamento, 24% foi obtido por empresas do segmento da informática, 19% do segmento de telecomunicações e 17% do segmento de equipamentos industriais (ABINEE, 2015a).

O setor eletroeletrônico tem grande importância no estado do Rio Grande do Sul, segundo dados da AGDI (2015), principalmente nos segmentos de automação e telecomunicações, que são responsáveis por cerca de 8 mil empregos diretos e 20 mil indiretos no estado. Outro dado significativo é que praticamente metade das indústrias brasileiras de automação está localizada neste estado e que as indústrias de telecomunicações do RS conseguem atender totalmente a demanda de alguns equipamentos.

Lau *et al.* (2003) afirma que a produção e o descarte de equipamentos eletroeletrônicos (EEE) está afetando o meio ambiente. Na produção dos EEE, por exemplo, a água utilizada no processo contém produtos químicos e solventes e necessita de tratamento específico para não contaminar solo, água e alimentos. No descarte, um dos problemas é o uso de substâncias retardantes de chamas nos EEE, que contém Bromo (Br) e Antimônio (Sb) e geram dioxinas e furanos, que, segundo a EPA (*Environmental Protection Agency*), entram em contato com o ser humano pelo ar, água ou alimento contaminado e que causam câncer e alteram níveis hormonais (EPA, 2015).

Por estes motivos, as indústrias precisam adotar práticas de gestão socioambiental, inserindo esta questão ao longo de todo seu processo, usando a tecnologia para produzir novos produtos menos agressivos e criando novas maneiras de fazer e distribuir estes produtos (NASCIMENTO; LEMOS; MELLO, 2008). Almeida (2002) acrescenta que para uma empresa ser sustentável precisa incessantemente buscar a ecoeficiência em todas suas ações e decisões, o que implica em reduzir consumo de materiais e energia, diminuir emissões de substâncias tóxicas, utilizar recursos renováveis e prolongar a durabilidade de seus produtos.

Além disso, a legislação ambiental tem exigido mudanças nos processos de produção e descarte dos EEE. Na Europa, em 2002, a diretiva WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*) estabeleceu a responsabilidade dos produtores pelo produto desde a concepção até sua reutilização no processo produtivo ou destinação final (NNOROM; OSIBANJO, 2008; PARLAMENTO EUROPEU, 2015b). A Europa também criou a diretiva RoHS (*Restriction of the Use of certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment*) que objetiva eliminar e/ou reduzir substâncias presentes nos EEE, como chumbo, cádmio, mercúrio, cromo e retardantes de chamas (PARLAMENTO EUROPEU, 2015a). Já o Brasil, em 2010, aprovou a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que exige que fabricantes, distribuidores e comerciantes estruturem um sistema de logística reversa para produtos eletroeletrônicos (BRASIL, 2010).

Sendo assim, este artigo tem como objetivos avaliar como as indústrias de EEE estão agindo para redução do impacto ambiental de sua produção e também como estão se organizando para atender a legislação ambiental no que se refere aos resíduos destes equipamentos ao final de sua vida útil. Este estudo será realizado com empresas de equipamentos eletroeletrônicos situadas no estado do Rio Grande do Sul.

2 SETOR ELETROELETRÔNICO NO BRASIL E NO RIO GRANDE DO SUL

As indústrias dos EEE no Brasil são representadas pela ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica) e pela ELETROS (Associação Nacional de Fabricantes de Eletroeletrônicos). A ABINEE foi criada em 1963 e é formada por empresas, independente de porte e origem de capital, que fabriquem produtos das áreas elétrica e eletrônica no Brasil (ABINEE, 2015a). A ELETROS foi criada em 1994 e representa 31 grandes fabricantes de equipamentos da linha branca, marrom e azul (ELETROS, 2015). A linha branca abrange os equipamentos de grande porte, como refrigeradores. A linha marrom compreende os equipamentos de som e imagem, como televisores. Já os equipamentos de pequeno e médio porte, como liquidificadores, são classificados como linha azul. Além destas linhas, a linha verde engloba os equipamentos de tecnologia da informação (ABDI, 2015).

A formação do complexo industrial de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil teve início na década de 1950, fomentado pelo crescimento do mercado interno. Este complexo é formado por diversos setores industriais que tem em comum uma mesma base tecnológica e que envolve os segmentos de bens de consumo, bens de informática, equipamentos de telecomunicações e componentes eletrônicos (HAUSER *et al*, 2007).

Grande parte dos bens eletrônicos de consumo é produzida na Zona Franca de Manaus, que foi criada em 1967 com o objetivo de tornar-se um polo exportador devido às isenções de impostos concebidas às atividades industriais (NASSIF, 2002). Entretanto, conforme Hausser *et al*. (2007), o segmento dos bens de consumo depende tecnologicamente de empresas multinacionais, não tendo realmente desenvolvido a área de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) nas empresas instaladas no Brasil.

O segmento dos equipamentos de telecomunicações e informática também é formado, em grande parte, por multinacionais que atuam no mercado brasileiro. No *ranking*

das maiores empresas brasileiras aparecem as multinacionais Whirlpool, Electrolux e Siemens nas três primeiras posições do setor eletroeletrônico (VALOR, 2015). No segmento das telecomunicações, todavia, há indústrias nacionais atuando na fabricação de equipamentos específicos, como *modems* e terminais telefônicos, enfatiza Hausser *et al.* (2007).

Gutierrez e Alexandre (2003) afirmam que grande parte das empresas instaladas no país trabalha na montagem de *kits* com componentes importados, o que tem como consequência a escassez de postos de trabalho mais qualificados no Brasil. Hausser *et al.* (2007) acrescenta que a existência de um “mercado cinza” de importações ilegais de equipamentos, completos ou em partes, prejudica o país devido a evasão fiscal e também contribui para a perda de competitividade da indústria nacional. Também são características do setor, segundo Bampi (2009), a inexistência de marcas nacionais expressivas nos bens de informática, o baixo conteúdo nacional em componentes eletrônicos de maior valor agregado (processadores, memórias, micro controladores) e o fato da produção ser quase exclusivamente para o mercado doméstico, exceção para aparelhos celulares, montagens eletrônicas para veículos e motocompressores que apresentam taxas elevadas de exportação.

No Rio Grande do Sul, conforme Bueno (2009), no final do século XIX, as primeiras indústrias de máquinas começaram a surgir, como a Schreiner, de Santa Cruz do Sul, que oferecia equipamentos para fábricas de cerâmica vermelha. Já na década de 1930 eram produzidos fogões industriais e residenciais da marca Geral e Wallig em Porto Alegre. A Springer, em 1958, lança o primeiro condicionador de ar da América Latina. Nos anos 1950 e 1960, surgem empresas de equipamentos elétricos como Trafo, Intral e Stemac.

Em 1977, é criada a Edisa – Eletrônica Digital S.A., pioneira em fabricação de microcomputadores no estado, com o apoio da Federação das Indústrias do Rio Grande do Sul (FIERGS) e da Companhia de Processamento de Dados do Rio Grande do Sul (PROCERGS) e contando em seu quadro técnico com profissionais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). A Parks Equipamentos Eletrônicos Ltda surgiu um pouco antes, em 1966, fundada por um professor da UFRGS, mas ganhou força em 1978 quando a Embratel utilizou seus equipamentos para transmissão de dados (BUENO, 2009).

No final da década de 1970 e no início da década de 1980, outras empresas do setor surgiram no Rio Grande do Sul. O grupo Digicon iniciou suas atividades em 1977 e hoje tem como principais produtos os controladores de acesso, os controladores de tráfego viário, os sistemas de controle de estacionamento rotativo (parquímetro) e os sistemas de bilhetagem

eletrônica para transporte urbano (DIGICON, 2015). A Digitel é reconhecida pelos seus equipamentos para transmissão de dados e a Altus é uma das principais empresas brasileiras do setor de informática e investe em pesquisas para desenvolvimento de tecnologias para automação industrial e controle de processos (BUENO, 2009). Já a CP Eletrônica, criada em 1982, fabricante de equipamentos como analisadores de baterias, *nobreaks* e inversores, desde 2012 faz parte do grupo Schneider Electric (CP Eletrônica, 2015).

Em 2011 o setor eletroeletrônico contava com 198 empresas no Rio Grande do Sul, que geraram um faturamento da ordem de R\$ 4,6 bilhões, o que corresponde a 3,35% do faturamento nacional do setor (AGDI, 2015). Segundo a regional do Rio Grande do Sul da ABINEE (2011), a maioria destas empresas, 67%, localizam-se na região metropolitana de Porto Alegre, mais especificamente no eixo entre as cidades de Novo Hamburgo e Porto Alegre. Estas empresas se distribuem em 10 ramos, com destaque para o de Automação Industrial com 83 empresas e que abriga 46% das empresas brasileiras deste ramo (AGDI, 2015).

3 O IMPACTO DA PRODUÇÃO E DO PÓS-CONSUMO

A pesquisa realizada pela CNI (Confederação Nacional da Indústria), em 2010, com o objetivo de retratar a sociedade brasileira em relação ao meio ambiente, mostrou que existe grande preocupação com o desmatamento e aquecimento global. Dentre os entrevistados, 20% apontam que o maior responsável pela poluição do meio ambiente no Brasil é o lixo e o esgoto residencial, enquanto 19% acredita ser a fumaça e gases dos veículos automotores. A sociedade pode contribuir no cuidado com o meio ambiente, de acordo com a pesquisa, evitando o desperdício de água, não jogando lixo nas ruas e economizando energia elétrica. Outros dados da pesquisa mostram que 37% dos entrevistados realizam a separação do lixo e que 51% aceitaria pagar mais caro por produtos ecologicamente corretos (CNI, 2010).

Na mesma linha, muitas empresas vêm demonstrando maior preocupação ambiental. Almeida (2002) afirma que, para uma empresa ser sustentável, precisa que todas suas ações, decisões, processos e produtos sejam pautados na ecoeficiência, ou seja, é preciso que as empresas produzam mais, com mais qualidade, utilizando menos recursos naturais e

gerando menos poluição. Para o autor também é importante intensificar ações de reciclagem de materiais e prolongar a durabilidade dos produtos. Nascimento, Lemos e Mello (2008, p. 34) acrescentam que a “tecnologia deveria contribuir para a manutenção da sustentabilidade e da habitabilidade do planeta tanto quanto possível”, uma vez que permite a introdução de novos produtos, a melhoria de processos de produção e distribuição dos produtos.

Os equipamentos eletroeletrônicos (EEE) possuem, segundo Oliveira, Chiesi e Barbieri (2012), substâncias como resina epóxi, fibra de vidro, chumbo, estanho, cobre, silício, berílio, carbono, ferro e alumínio. Lau *et al.* (2003) afirmam que os EEE podem causar problemas ambientais pelo uso do chumbo e de retardantes de chamas, que são uma combinação de Bromo e Antimônio. O chumbo é um metal pesado que pode causar enfraquecimento das articulações, aumento de pressão arterial, problemas no sistema digestivo e anemia (TUASAUDE, 2015). Já os retardantes de chamas podem causar câncer e provocar alterações hormonais, afetando o sistema imunológico e reprodutor humano (EPA, 2015).

Por estas razões, foi criada na Europa a diretiva RoHS (*Restriction of the Use of certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment*) que objetiva eliminar e/ou reduzir substâncias como chumbo, cádmio, mercúrio, cromo e retardantes de chamas nos EEE (PARLAMENTO EUROPEU, 2015a). No Brasil ainda não há legislação semelhante para a fabricação dos EEE, mas o Ministério do Meio Ambiente (MMA) tem adotado medidas para restringir o uso de algumas substâncias, como, por exemplo, estabelecer limites máximos de metais pesados em pilhas e baterias através da Resolução 401 de 04/11/2008 (MMA, 2015a) e criar o projeto BRA/08/G32 para gerir o uso e promover a eliminação progressiva dos PCBs até 2025 (MMA, 2015b). Além disso, o Brasil instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) pela Lei nº 12.305 em 2 de agosto de 2010, que exige implantação da logística reversa para produtos eletroeletrônicos e seus componentes, definindo logística reversa como um sistema que possibilite o retorno de bens ou de seus materiais constituintes ao ciclo produtivo para reaproveitamento ou destinação adequada (BRASIL, 2010).

De qualquer forma, percebe-se a necessidade de alterar as matérias primas, principalmente para empresas exportadoras para a União Europeia, melhorar os processos produtivos dos EEE, reduzir o uso de água e energia e minimizar as embalagens. Lau *et al.* (2003) afirma que não é possível continuar consumindo minerais no nível atual, pois alguns podem ter suas reservas esgotadas em 100 anos e cita como exemplos o cobre, o petróleo, o

ouro, a prata e o titânio. O atendimento da legislação ambiental, conforme Ruiz *et al* (2011), traz um aumento no custo de desenvolvimento e produção dos EEE, pois demanda mais ensaios, auditorias de qualidade e certificação de fornecedores. Braga *et al* (2005) defendem que as empresas devem adotar estratégias que evitem a geração da poluição, eliminando a necessidade de ações corretivas, reduzindo os impactos ambientais e conservando recursos e energia.

Os princípios básicos para prevenção da poluição, segundo Braga *et al* (2005) são: (i) Substituição de materiais e insumos: não utilizar produtos tóxicos, usar materiais oriundos de recursos renováveis e preferir fontes de energia com menor impacto ambiental; (ii) Mudança nos procedimentos: buscar processos mais eficientes, alterar design do produto para melhor aproveitamento dos materiais e da embalagem; (iii) Melhorar a organização: manter a empresa limpa e organizada, evitar desperdícios de materiais e realizar manutenções preventivas nos equipamentos; e (iv) Programas educacionais: conscientização de todos os envolvidos no processo.

Wang e Gupta (2001) afirmam que nenhum material é perfeito, todos têm suas vantagens, desvantagens e causam algum impacto no meio ambiente. Entretanto, é possível selecionar matérias prima que atendam os requisitos técnicos e ao mesmo tempo sejam menos poluentes, recicláveis, oriundos de fonte renovável ou ainda possibilitem economia de energia. Estes são os chamados materiais “verdes” e que podem ser utilizados na fabricação de EEE, em substituição aos materiais considerados perigosos.

As soldas com chumbo são largamente utilizadas nas indústrias eletroeletrônicas por apresentarem baixo custo e boas propriedades químicas, físicas e mecânicas, mas é possível substituí-las por outros tipos de soldas. Um destes materiais substitutivos pode ser o adesivo condutor isotrópico, utilizado em processos ópticos, porém pouco resistentes à fissuras e até 5 vezes mais caros que a solda com chumbo, segundo Lau *et al.* (2003).

No trabalho realizado por Ruiz *et al* (2011), um dos entrevistados afirma que algumas empresas do setor eletroeletrônico brasileiro fabricam produtos diferenciados para atendimento do mercado interno e externo, adotando matérias primas e procedimentos distintos, uma vez que o Brasil ainda não possui legislação similar à Diretiva RoHS europeia. Entretanto, outro entrevistado da mesma pesquisa acredita que as empresas que exportam tendem a unificar suas linhas de produção, para minimizar o estoque, e conseqüentemente o custo, de produtos e componentes.

O uso da água no processo produtivo é um dos fatores que precisam ser analisados para melhoria dos processos, do ponto de vista ambiental. Braga *et al* (2005) defende que águas de melhor qualidade sejam utilizadas para o abastecimento humano e que as indústrias devem adotar estratégias para reduzir o consumo e utilizar águas de reuso, obtidas após tratamento de seus próprios efluentes ou de outras fontes, como de drenagem agrícola por exemplo. Em torno de 60% das indústrias do setor eletroeletrônico da região Sudeste do Brasil estão sofrendo com a crise de abastecimento de água da região, segundo notícia da ABINEE (2015b).

A FIESP (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo) elaborou uma cartilha chamada “Gerenciando a escassez de água na indústria” onde lista questões para que as empresas avaliem o uso atual da água (Uso está adequado? É possível utilizar menos água no processo?). Também propõe na cartilha que as indústrias elaborem um plano de contingência, visando maior controle da manutenção de equipamentos de distribuição de água na empresa e avaliando a possibilidade de realizar tratamento de suas águas residuais para reuso em algum processo (ELETROS, 2015; FIESP, 2015).

Outro fator importante para reduzir o impacto ambiental da produção de EEE é utilizar métodos de produção que consumam menos energia elétrica, além de utilizar fontes de energia renováveis como a solar e a eólica (GREENPEACE, 2014). Lau *et al.* (2003) também trazem a necessidade de melhores projetos de EEE, buscando alternativas de componentes que consumam menos energia ao longo de toda vida útil do equipamento.

Kobal (2014) apresenta um estudo sobre o uso da água e da energia, dentre outros fatores pesquisados, que foi realizado com 60 empresas do setor eletroeletrônico do Brasil distribuídas em 8 estados: Amazonas (1), Ceará (2), Pernambuco (1), Minas Gerais (6), São Paulo (34), Paraná (5), Santa Catarina (1) e Rio Grande do Sul (10). Analisando os resultados, não foram evidenciadas ações de reaproveitamento de água em praticamente metade das empresas pesquisadas e 65% destas empresas não utiliza nenhuma fonte de energia alternativa.

A utilização de materiais menos agressivos, a melhoria dos processos produtivos, o uso de energia oriunda de fontes renováveis e a redução do consumo da água consistem apenas de uma parte do que a indústria eletroeletrônica precisa fazer para reduzir o seu impacto ambiental (GREENPEACE, 2014). Em relação aos produtos, é preciso repensar a

forma de utilização dos EEE pelos consumidores, que começam a demandar mais informações sobre os materiais e processos produtivos, segundo Lau *et al* (2003).

Em maior ou menor escala, todo produto afeta o ambiente e produz algum tipo de poluição, afirmam Nascimento, Lemos e Mello (2008). A concepção de um novo produto é uma fase importante, pois define as características, os materiais e o design deste produto. Os autores apresentam o conceito de *ecodesign* como sendo integrador das questões ambientais e industriais, que busca alternativas para otimizar o uso de recursos naturais, minimizar o uso de energia e permitir a reciclagem após a vida útil. Reciclabilidade, segundo Leite (2009), trata da adequação técnica nas diversas fases do produto, considerando fatores como facilidade de desmontagem, de separação das peças e de extração de materiais.

A pesquisa com as 60 empresas de EEE realizada por Kobal *et al* (2014) mostra a preocupação das empresas com a durabilidade e possibilidade de reparação dos equipamentos e com a otimização do tipo e quantidade de materiais utilizados nos produtos. Entretanto, não foi evidenciada entre as empresas pesquisadas a realização de projetos que visem a reciclabilidade do produto. Em relação às embalagens, 67% das empresas pesquisadas utilizam embalagens recicláveis na maioria de seus produtos.

A adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo, que atendam as necessidades atuais sem comprometer a qualidade ambiental e as necessidades das gerações futuras, é um dos objetivos da PNRS (BRASIL, 2010). Durante a produção dos EEE é preciso que as indústrias estejam atentas para a questão ambiental em todo ciclo de vida do produto, gerenciando os recursos e evitando a geração de resíduos.

Oliveira e Freitas (2013) realizaram um estudo de caso em uma indústria de equipamentos de informática (microcomputadores, microcomputadores portáteis e placas de circuito impresso) localizada no estado de Pernambuco, Brasil, onde analisaram o processo produtivo e os possíveis impactos da produção dos EEE. Resíduos como isopor, espuma, plástico e metal foram considerados de baixo impacto, por serem reaproveitados pela empresa ou destinados à reciclagem. O consumo de energia elétrica, embora tenha sido considerado com impacto baixo, requer atenção e a empresa pretende melhorar o controle do consumo para evitar desperdícios. Considerados de médio impacto, resíduos como tintas, solventes e diluentes precisam de armazenamento adequado e descarte apenas com empresas especializadas no tratamento destes resíduos. Já os resíduos de solda e pasta de solda, peças e componentes eletrônicos, óleo lubrificante e gases emitidos no processo foram considerados

de alto impacto e precisam de maior controle e tratamento adequado como armazenamento em local segregado, instalação de equipamentos de controle de emissão de gases e encaminhamento para empresas de reciclagem/recuperação.

Já o consumidor precisa ser responsável ao escolher o produto, ao utilizá-lo e descartá-lo. O consumo consciente, segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2015c), é uma questão de hábito voluntário, cotidiano e solidário para garantir a sustentabilidade. O princípio do 3R's (Reduzir, Reutilizar e Reciclar) é um dos caminhos para atingir o consumo sustentável. O primeiro passo é o consumidor avaliar a necessidade de consumo e buscar produtos com menor potencial de geração de resíduos e mais duráveis. O segundo R é o que sugere que os produtos sejam reutilizados, que não sejam descartados enquanto ainda funcionam adequadamente. E quando realmente o produto cessar sua utilidade, que este seja encaminhado para reciclagem. É neste ponto que são gerados os resíduos pós-consumo, no momento em que o consumidor descarta o produto.

Os resíduos dos equipamentos eletroeletrônicos (REEE) podem retornar ao processo produtivo após a reciclagem ou serem reutilizados em aplicações diversas. A responsabilidade pela gestão dos REEE é dos fabricantes, distribuidores, importadores e comerciantes, segundo a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, que precisam estruturar um sistema de logística reversa (BRASIL, 2010). Leite (2009) apresenta três fatores que influenciam na organização da logística reversa de pós-consumo: (i) Econômico: remuneração adequada dos agentes da cadeia reversa; (ii) Tecnológico: disponibilidade de tecnologia para desmontagem, separação, reciclagem e transformação dos resíduos em novas matérias primas; (iii) Logístico: sistema de transporte, centros de reciclagem, disponibilidade de pontos de coleta. O autor também enfatiza que as organizações implantam sistemas de logística reversa motivadas por exigências legais, mudança de comportamento da sociedade exigindo a responsabilidade ambiental das empresas e preocupação com a imagem corporativa.

O Greenpeace, desde 2006, desafia as principais empresas mundiais do setor eletroeletrônico a reduzir seus impactos ambientais, eliminando o uso de substâncias perigosas e promovendo a reciclagem dos produtos. Um dos resultados apresentados mostra que em 2006 todos os aparelhos celulares pesquisados continham substâncias perigosas (plástico PVC e BFR – retardadores de chamas bromados) e que em 2014 este número foi reduzido à metade (GREENPEACE, 2015).

Além disso, o Greenpeace elabora o *Guide to Greener Electronics* (Guia dos eletrônicos verdes), que classifica os grandes fabricantes considerando três fatores (energia, produtos e operações). Em relação à energia, as empresas devem possuir planos e apresentar resultados para redução de gases de efeito estufa e para utilização de energia limpa. Os produtos precisam demonstrar eficiência energética e eliminação gradativa de substâncias perigosas. Já em relação às operações, as empresas devem buscar a eliminação de substâncias químicas tóxicas dos produtos, adotar políticas para redução de embalagens e uso de papéis reciclados, utilizar matérias primas de fontes conhecidas e desenvolver um sistema de retorno dos seus produtos mesmo em locais onde não existam leis exigindo este sistema (GREENPEACE, 2012).

A figura 5.1 apresenta o *ranking* do Greenpeace (2012). Percebe-se que a empresa Winpro apresentou desempenho superior às demais neste *ranking* e é a única que se encontra na área verde da figura, com nota entre 7 e 8. HP, Nokia e Acer, que ocupam 2ª, 3ª e 4ª posição, respectivamente, tiveram média entre 5 e 6, sendo posicionadas em uma área intermediária da figura. As demais empresas participantes do *ranking* tiveram nota inferior a 5, o que mostra que as empresas ainda precisam melhorar seus produtos e processos em relação ao uso sustentável do meio ambiente.

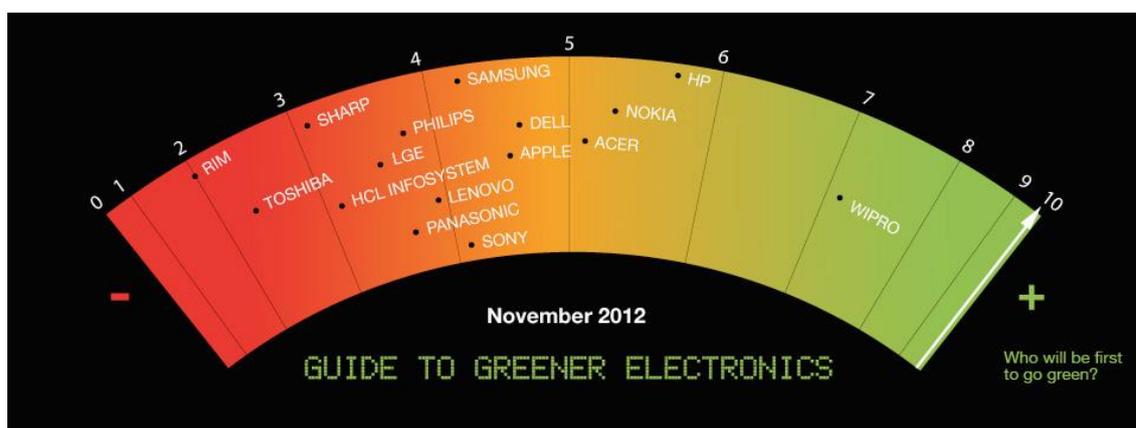


Figura 5.1 - *Guide to Greener Electronics* – November 2012

Fonte: Greenpeace (2012)

4 MÉTODO

O artigo terá como método as etapas mostradas na figura 5.2. A revisão da literatura, essencial de qualquer pesquisa, segundo Mattar (2008), consiste no levantamento de trabalhos disponíveis em revistas, livros, dissertações e teses, concessionárias de serviços públicos, relatórios, etc.

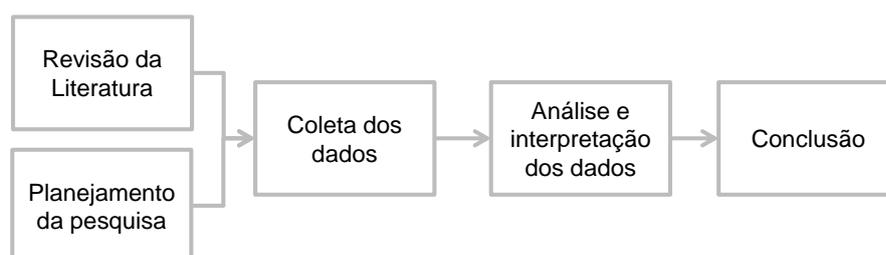


Figura 5.2 – Método

Na etapa de planejamento da pesquisa foram definidos os objetivos, a população objeto da pesquisa, o instrumento de coleta de dados e as ferramentas para análise de dados. Como este estudo visa conhecer e analisar as indústrias do setor eletroeletrônico foi preciso definir critérios de seleção das empresas a serem contatadas: a empresa deveria estar localizada no Rio Grande do Sul e deveria ser fabricante de equipamentos eletroeletrônicos. A lista inicial das empresas foi obtida no documento Pesquisa de Desempenho Setorial, da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica e contava com 198 empresas (ABINEE, 2011). Após análise de cada empresa citada no documento percebeu-se que algumas são prestadoras de serviço, principalmente na área de informática, e estas não foram incluídas. A lista que foi utilizada na pesquisa contava com 119 empresas.

O instrumento de coleta de dados escolhido foi o questionário. Para elaboração do questionário e determinação dos blocos foram avaliados os critérios adotados pelo Greenpeace (2012) para elaboração de um guia que classifica os fabricantes mundiais de eletrônicos, as exigências da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) para equipamentos eletroeletrônicos (BRASIL, 2010) e demais assuntos abordados no referencial teórico deste trabalho. O guia do Greenpeace (2012) questiona as empresas em relação ao uso de energia, composição dos produtos e forma de produção. A PNRS determina que os fabricantes precisam implantar a logística reversa de seus produtos EEE. A literatura pesquisada neste trabalho sugere que o consumidor precisa ter acesso às informações sobre descarte, transporte e manuseio dos EEE. O questionário, mostrado na figura 5.3, inicia com

questões informativas, como localização e número de funcionários, que auxiliarão no mapeamento das empresas participantes.

Nome da Organização		Cidade								
Segmento de atuação		Nº de colaboradores								
Cargo do responsável pelo preenchimento:										
A empresa é exportadora? Para que continentes?										
<i>Leia a afirmativa e marque com um X na alternativa adequada para sua empresa</i>										
Bloco 1 - Processo produtivo					1	2	3	4	5	
1. A empresa já alterou processos produtivos para reduzir a geração de resíduos de produção.										
2. Os resíduos gerados na produção são encaminhados para gerenciadoras ou cooperativas específicas para cada tipo de resíduos.										
3. Os resíduos da produção são encaminhados para a coleta pública.										
4. O processo de reciclagem e destinação final de seus resíduos produtivos são realizados sem acompanhamento da empresa.										
5. A empresa já alterou seus processos produtivos visando reduzir o consumo de energia e água durante a fabricação de seus produtos.										
Bloco 2 – Produtos					1	2	3	4	5	
1. A empresa atende as exigências da Diretiva ROHS na fabricação dos produtos destinados à Comunidade Europeia ou países com as restrições semelhantes.										
2. Os produtos da empresa possuem substâncias como chumbo, cromo, mercúrio, cádmio e retardantes de chamas.										
3. A empresa desonera seus fornecedores do atendimento às exigências da Diretiva ROHS.										
4. A empresa busca designs que facilitem a desmontagem, o reaproveitamento e a reciclagem dos equipamentos.										
Bloco 3 – Informações aos consumidores					1	2	3	4	5	
1. As embalagens dos produtos da empresa oferecem informações sobre a destinação correta do produto após sua vida útil.										
2. As informações sobre descarte, transporte, manuseio e armazenagem do produto são de exclusividade da empresa.										
3. Não são fornecidas informações sobre a destinação das embalagens dos produtos da empresa.										
4. A empresa disponibiliza informações sobre os pontos de coleta dos seus equipamentos após sua vida útil.										
Bloco 4 – Política Nacional de Resíduos Sólidos					1	2	3	4	5	
1. A empresa elaborou seu plano de gerenciamento de resíduos sólidos conforme legislação vigente.										
2. As ações propostas no plano de gerenciamento de resíduos sólidos ainda não foram implantadas.										
3. A empresa está alheia à discussão a respeito da implantação da logística reversa para equipamentos eletroeletrônicos, diretamente ou através de sua entidade representativa.										
4. A empresa disponibiliza pontos de coleta, próprios ou terceirizados, para descarte de seus produtos.										
5. A destinação e tratamento correto dos resíduos eletroeletrônicos da empresa são realizados por empresa Gerenciadora de Resíduos.										
6. Nem todos os produtos da empresa são contemplados com o processo de logística reversa.										

Figura 5.3 - Questionário

A parte principal do questionário está dividida em quatro blocos de questões fechadas, onde os representantes da empresa informam a concordância ou não com a afirmação, numa escala Likert de 5 pontos, sendo que 1 discorda totalmente. No bloco 1 do questionário foram elaboradas afirmativas sobre o processo produtivo, ressaltando questões relativas ao uso da água e da energia e da destinação dos resíduos de produção. Já o bloco 2 trata dos produtos da empresa, da composição destes produtos, dos fornecedores de matérias primas e da possibilidade de desmanche deste produtos ao fim de sua vida útil. O terceiro bloco apresenta afirmações que tratam do relacionamento da empresa com seus consumidores, da forma como as informações são disponibilizadas sobre o transporte, uso e descarte dos equipamentos e embalagens. O último bloco busca informações sobre a implantação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos pela empresa. Para que não houvesse tendência do respondente em concordar com todas as afirmações foi tomado o cuidado de inverter o sentido de algumas afirmações, onde a resposta esperada pelos pesquisadores era a discordância.

O contato com todas as empresas foi realizado através de e-mail ou mensagens pelo site da empresa, entre os meses de março e julho de 2015. Após a aplicação do pré-teste foram executadas pequenas alterações nos textos das afirmativas considerando os comentários realizados, visando melhorar o entendimento dos futuros respondentes. Das 119 empresas contatadas desta forma, oito retornaram informando não desejar participar por julgarem que realizavam apenas montagens ou pela empresa não ter interesse em participar de pesquisas científicas envolvendo estas questões. Dez empresas responderam o questionário após este contato inicial.

Além do contato via internet, foram contatadas dezessete empresas da lista através de facilitadores que trabalham ou trabalharam em algumas destas empresas e que poderiam informar quem seria o responsável por avaliar o questionário e decidir a respeito da participação da empresa na pesquisa. Nesta modalidade de contato, seis empresas responderam o questionário. Também foram realizados contatos telefônicos com 15 empresas, onde se buscava o responsável pela produção ou qualidade da empresa e se enviava o questionário diretamente para o e-mail desta pessoa. Desta forma foi possível obter mais três questionários respondidos, totalizando 19 empresas participantes. O resumo destas informações, bem como o percentual de respostas obtido para cada forma de contato, consta na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Forma de contato e % de retorno dos questionários

Tipo de contato	Nº empresas contatadas	Participação na pesquisa	%
Site da empresa (e-mail ou formulário)	119	10	8,4%
Facilitador	17	6	35,3%
Telefone	15	3	20,0%

Após foi realizada a avaliação da consistência interna dos dados obtidos pela aplicação do questionário, por meio do cálculo do Alfa de Cronbach (FIPECABI, 2007). Para atender a premissa deste modelo de análise de confiabilidade, foram calculadas as correlações entre as questões, garantindo que estas correlações fossem positivas, invertendo o sentido de direção sempre que a resposta esperada fosse a discordância da afirmação. O Alfa de Cronbach obtido, utilizando o software SPSS, foi de 0,797, valor que mostra que o questionário foi compreendido pelos respondentes, uma vez que o valor é superior a 0,7, limiar de aceitação segundo Hair *et al* (2005).

Para análise dos dados dos questionários, foram utilizadas ferramentas estatísticas, tais como: gráficos e tabelas. Os softwares utilizados neste estudo foram o Excel e o SPSS. A principal ferramenta da estatística descritiva utilizada no trabalho foi a frequência absoluta, que mostra quantas vezes existiu a repetição de determinada respostas para cada questão e os percentuais correspondentes, conforme Bisquerra, Sarriera e Martínez (2004).

Para medir a associação entre duas variáveis ordinais, como neste estudo onde empregou-se a escala Likert de 5 pontos, foi utilizado o coeficiente de correlação posto-ordem r_s de Spearman para verificar o grau desta associação, com determinado nível de significância α . Esta medida de associação foi escolhida devido ao fato que ela expressa o nível de concordância das afirmações (SIEGEL, 2006).

Segundo Siegel (2006), para pequenas amostras, é possível verificar se duas variáveis estão associadas comparando o valor obtido para r_s e um valor crítico determinado pelo tamanho da amostra e nível de significância desejado. Mesmo a amostra deste estudo não sendo aleatória, procedeu-se a verificação da significância para todas as variáveis, visando o atendimento dos critérios técnicos do teste. No caso deste trabalho, o tamanho da amostra é $n=19$ e o nível de significância desejado é $\alpha = 0,05$, resultando em um valor crítico de 0,584. Se o valor encontrado para r_s for maior ou igual ao valor crítico, pode-se concluir que as duas variáveis em análise não estão associadas na população da qual a amostra foi extraída.

Além da averiguação das associações, foi criado um índice com o objetivo de classificar as empresas participantes da pesquisa. Este índice geral (IG_k) é calculado através do somatório das respostas obtidas no questionário, para cada empresa, considerando a resposta esperada ou mais adequada por atender requisitos ambientais e legais de cada questão. Por exemplo, na questão 1 do bloco 1, a resposta mais adequada é a concordância total (5) com a afirmação, pois espera-se que as empresas já tenham tomado medidas para reduzir os resíduos gerados durante a produção. Entretanto, na questão 4 do mesmo bloco, espera-se que as empresas acompanhem de alguma forma o processo de reciclagem e destinação final de seus resíduos produtivos e a melhor resposta para a afirmação da questão seria a discordância total (1). O índice IG_k é obtido através da equação 5.1, onde k representa cada empresa.

$$IG_k = \sum_{i=1}^{i=b} I_i \quad \text{Equação 5.1}$$

Os subíndices I_i são calculados dentro de cada bloco do questionário, segundo a equação 5.2, sendo b o número de blocos do questionário, R_j as respostas dadas para cada questão e m o número de questões de cada bloco.

$$I_i = \sum_{j=1}^{j=m} R_j \quad \text{Equação 5.2}$$

Entretanto, como algumas questões em cada bloco tem como resposta mais adequada o valor mais baixo e não o mais alto da escala é preciso realizar uma operação de inversão do sentido destas respostas, para que o peso de todas as questões seja semelhante. No caso do questionário utilizado nesta pesquisa, no bloco 1 é preciso realizar a operação nas questões 3 e 4, no bloco 2 e 3 é preciso inverter as questões 2 e 3 e no último bloco é preciso alterar as questões 2, 3 e 6. A operação de inversão do sentido é apresentada na equação 5.3. Note-se que uma discordância total ($R_j = 1$) entrará na contabilidade do IG_k como $R_{j*}=5$ e portanto terá o mesmo peso no cálculo do índice geral que uma concordância total nas questões com respostas diretas.

$$R_{j*} = (5 - R_j) + 1 \quad \text{Equação 5.3}$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Descrição das empresas

As 19 empresas que participaram da pesquisa estão localizadas no Rio Grande do Sul (RS). A pesquisa realizada pela setorial gaúcha da ABINEE (2011) mostrou que 67% das empresas do setor eletroeletrônico do RS estavam localizadas na região metropolitana de Porto Alegre, mais precisamente entre a capital e a cidade de Novo Hamburgo, 16% ficavam na cidade de Caxias do Sul e as 17% restantes estavam distribuídas em outras cidades. Neste trabalho a distribuição geográfica das empresas que participaram do estudo está na Tabela 5.2. Nota-se que a proporção das empresas participantes assemelha-se ao apresentado pela ABINEE.

Tabela 5.2 - Localização das empresas participantes

Cidade	Quant	%	Região	%
Porto Alegre	6	32%	Metropolitana de Porto Alegre	74%
Cachoeirinha	3	16%		
Canoas	3	16%		
São Leopoldo	2	11%		
Caxias do Sul	2	11%	Nordeste	16%
Guaporé	1	5%		
Santa Cruz do Sul	1	5%	Centro-oriental	11%
Vera Cruz	1	5%		

Em relação ao porte das empresas, foi utilizado o critério do número de funcionários para fazer a classificação por considerar que este dado seria facilmente fornecido pelas empresas. As indústrias foram classificadas em: (i) Microempresa: até 19 funcionários; (ii) Pequena empresa: de 20 a 99 funcionários; (iii): Média empresa: de 100 a 499 funcionários e; (iv) Grande empresa: mais de 500 funcionários (SEBRAE, 2014). A figura 5.4 apresenta a distribuição das empresas participantes deste trabalho. Nota-se que a maioria das empresas do setor eletroeletrônico gaúcho participantes deste estudo são empresas de pequeno e médio porte.

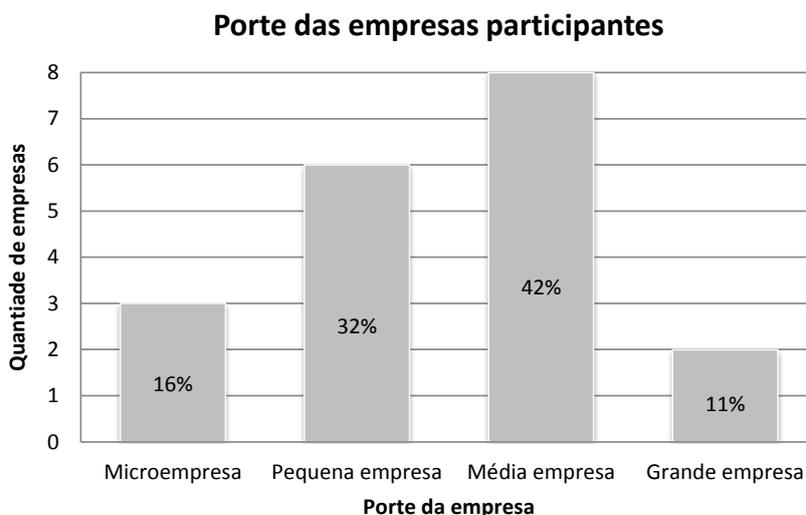


Figura 5.4– Porte das empresas participantes da pesquisa

A maioria dos questionários foi respondida por pessoa da área da Qualidade (32%) ou Diretoria (26%). Em relação ao comércio exterior, oito empresas (42%) afirmaram ser exportadoras de seus produtos e 11 se dedicam apenas ao mercado interno. Em relação aos destinos das exportações, pode-se afirmar que todas as empresas exportadoras enviam seus produtos para países da América do Sul, duas empresas exportam também para a América Latina e quatro exportam para a Europa e outros continentes.

5.2 Análise por blocos do questionário

O Bloco 1 do questionário traz afirmações relativas ao processo produtivo da empresa, visando conhecer se há preocupação em reduzir resíduos gerados durante a produção e sua destinação, bem como reduzir o consumo de energia e água, corroborando com Braga *et al.* (2005) que defendem que as empresas devem evitar a geração da poluição e conservar recursos e energia.

A distribuição de frequências das respostas para as cinco questões do bloco 1 é mostrada na figura 5.5, onde o eixo horizontal mostra as respostas de 1 (discorda totalmente) a 5 (concorda totalmente) e o eixo vertical apresenta a quantidade de empresas. A cor mais escura mostra a resposta desejada para a questão, considerando o recomendado pela literatura.

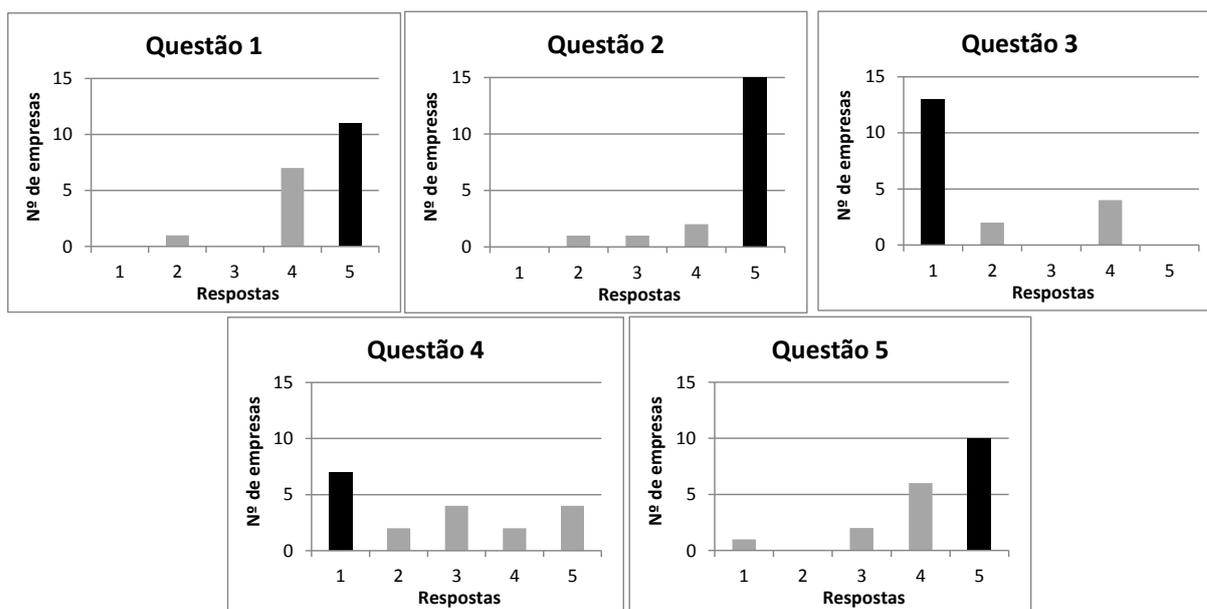


Figura 5.5- Distribuição das respostas do Bloco 1 (Processo Produtivo)

As respostas das empresas para a primeira questão deste bloco mostram que 94,7% (respostas 4 e 5) já alteraram seus processos de produção para reduzir resíduos gerados durante a fabricação de seus produtos. Também se pode perceber nas questões 2 e 3 que a maioria das empresas pesquisadas (respostas 4 e 5) encaminham estes resíduos para empresas especializadas na gestão de resíduos e que não encaminham os resíduos de produção para a coleta pública ou encaminha apenas alguns tipos de materiais (respostas 1 e 2). Já a questão 4 mostra que não é procedimento de algumas empresas acompanhar a destinação dos seus resíduos, pois 47,4% afirmou realizar tal procedimento (respostas 1 e 2). Em relação ao consumo de água e energia, 84,2% (respostas 4 e 5) das empresas afirmaram ter alterado o processo produtivo para reduzir estes consumos.

O Bloco 2 apresenta questões relativas aos produtos das empresas e a distribuição de frequências é mostrado na figura 5.6. Para as quatro empresas que exportam para a Europa, esperava-se que a Diretiva RoHS (PARLAMENTO EUROPEU, 2015a) estivesse sendo atendida e que seus produtos estivessem isentos de substâncias proibidas pela diretiva. Entretanto, ao analisar as questões 1 e 2 deste bloco, verifica-se que duas das empresas que exportam para a Europa atendem tal diretiva e apenas uma afirmou que todos seus produtos não contém chumbo, cromo, mercúrio, cádmio e retardantes de chamas. Isso reforça a afirmação apresentada no trabalho de Ruiz *et al.* (2011) de que algumas empresas mantêm linhas de produtos distintas para exportação e atendimento do mercado interno. Outro ponto preocupante é que a presença destas substâncias é admitida por 8 empresas na questão 2

(respostas 4 e 5). Positivamente, salienta-se que três empresas que não exportam seus produtos afirmaram atender a Diretiva RoHS.

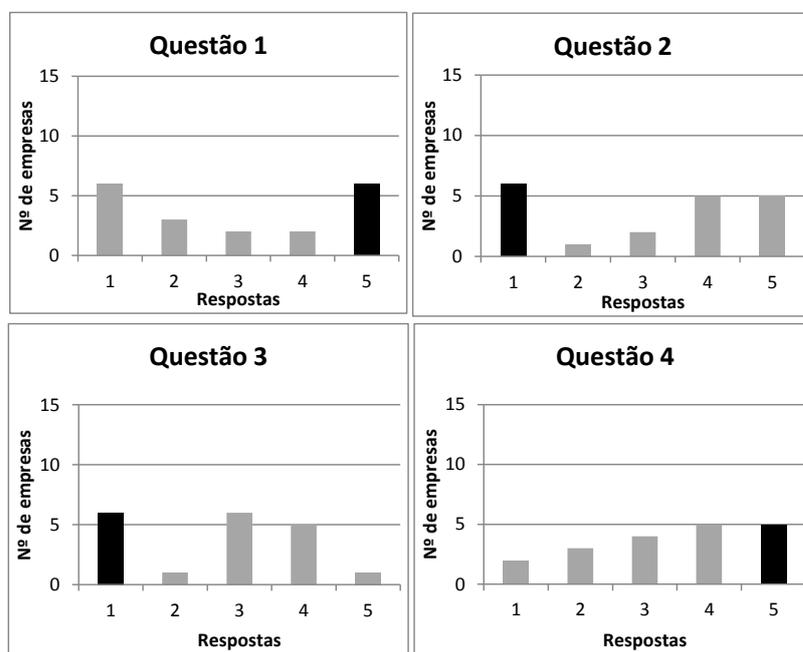


Figura 5.6- Distribuição das respostas do Bloco 2 (Produtos)

Observando as respostas da questão 3, percebe-se que seis empresas (31,6%) exigem que seus fornecedores atendam as exigências da Diretiva RoHS (resposta 1) e que o mesmo número de empresas não se posicionou nesta questão (resposta 3). Já ao analisar a questão 4 deste bloco, nota-se que 52,6% das empresas afirmam ter alguma preocupação com o *design* dos produtos, com a sua reciclabilidade (respostas 4 e 5).

O bloco 3 do questionário trata das informações que a empresa passa para seus consumidores sobre os produtos e suas embalagens. O primeiro questionamento era sobre informações sobre destinação correta do produto após sua vida útil, sendo que somente quatro respondentes (21,1%) disseram fornecer algum tipo de informação (respostas 4 e 5). Pode-se perceber nos gráficos de distribuição de frequência da figura 5.7 que muitas empresas não fornecem estas informações, pois 11 discordaram totalmente da afirmação.

Nas questões 2 e 3 do Bloco 3 houve dispersão das respostas, o que parece sinalizar que a maioria das empresas não costuma disponibilizar informações sobre transporte, manuseio, armazenagem e destinação correta dos produtos e das embalagens. A última questão deste bloco versa sobre os pontos de coleta para os equipamentos após vida útil e novamente percebe-se que esta informação não é disponibilizada para os consumidores, exceção para cinco (26,3%) das dezenove empresas pesquisadas (respostas 4 e 5). As demais

empresas não disponibilizam esta informação (47,3%) ou não quiseram se posicionar nesta questão (26,3%).

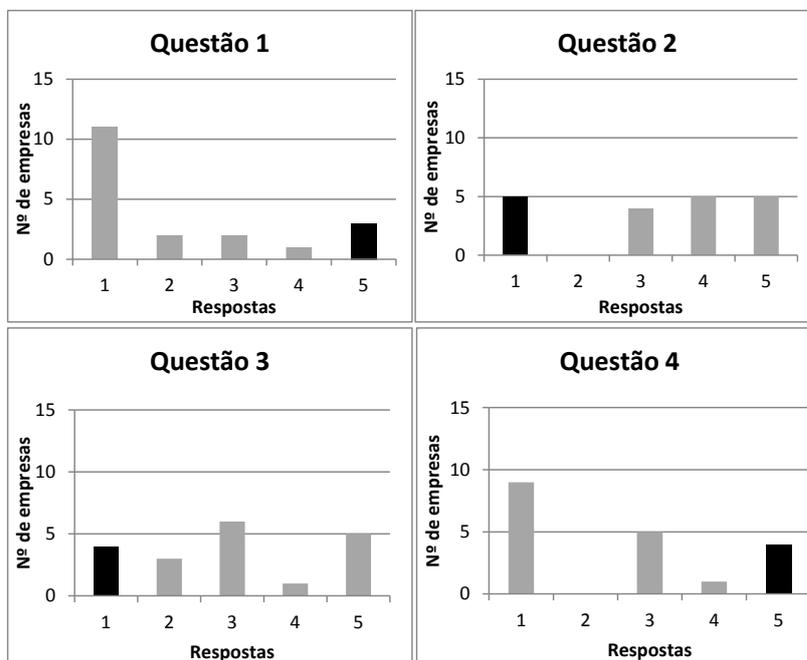


Figura 5.7- Distribuição das respostas do Bloco 3 (Informação aos consumidores)

O último bloco de questões trata da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) e a distribuição de frequências é apresentada na figura 5.8. As duas primeiras questões deste bloco tratam do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, um instrumento da PNRS que é obrigatório para indústrias (BRASIL, 2010). Nota-se que doze empresas estão como este plano concluído (63,2%) e oito (42,1%) já implantaram as ações previstas no plano.

A terceira questão do Bloco 4 visava avaliar a participação das empresas na discussão sobre a PNRS e a obrigatoriedade da implantação da logística reversa para os equipamentos eletroeletrônicos (EEE). As indústrias tem papel fundamental na elaboração do acordo setorial que está sendo elaborado juntamente com o Ministério do Meio Ambiente, pois serão responsáveis pelo sistema de logística reversa, juntamente com comerciantes, importadores e distribuidores de EEE (SINIR, 2015). Dez respondentes (52,6%) afirmaram acompanhar este processo, diretamente ou através de sua entidade representativa.

A disponibilização de pontos de coleta para descarte dos EEE é o assunto da quarta questão do Bloco 4. Seis empresas (31,6%) disponibilizam estes pontos de coleta, oito empresas (42,1%) não disponibilizam e cinco empresas (26,3%) não se posicionaram em relação aos pontos de coleta. Em relação ao tratamento dos resíduos dos equipamentos

eletroeletrônicos (REEE), esta tarefa é realizada por empresas especializadas em gestão de resíduos para quatorze empresas (73,7%). A última questão indagava sobre a realização da logística reversa para os produtos da empresa, sendo que somente cinco empresas (26,3%) contemplam todos os produtos da empresa com a logística reversa.

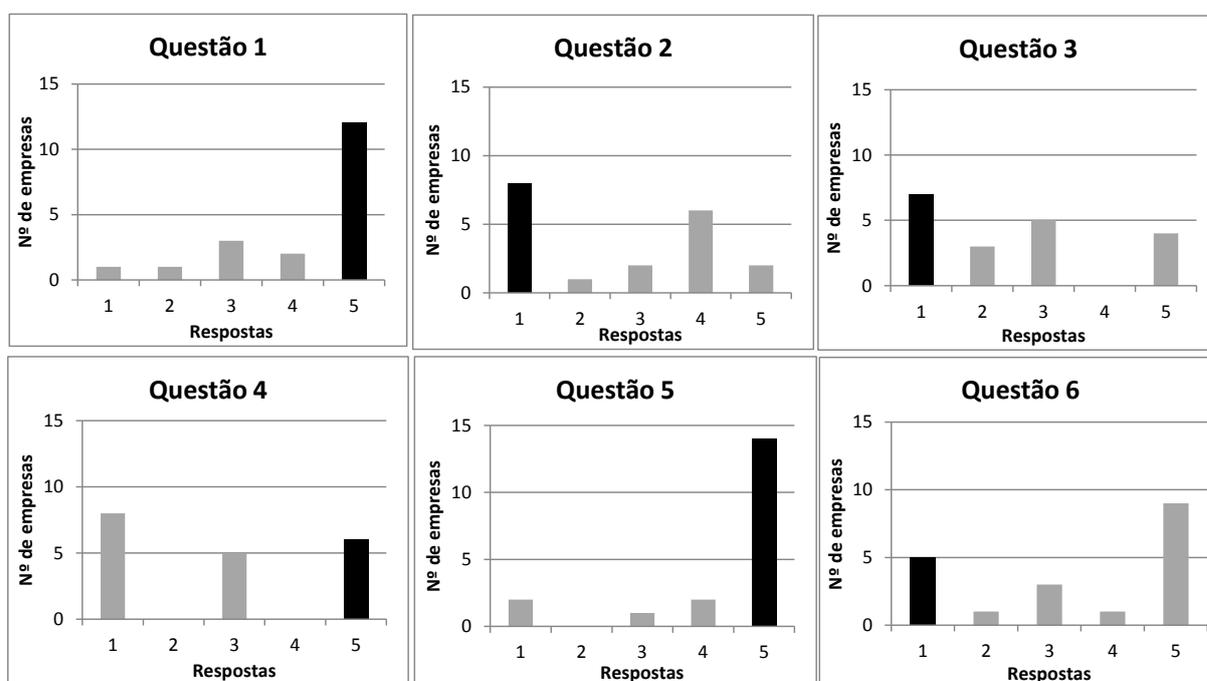


Figura 5.8- Distribuição das respostas do Bloco 4 (PNRS)

Outra análise realizada foi a verificação da associação entre as questões pesquisadas utilizando o coeficiente de correlação posto-ordem de Spearman (r_s), sendo que este foi obtido utilizando-se o software SPSS (versão 18). A tabela 5.3 apresenta os valores para as associações entre duas questões que apresentaram significância ao nível de 5% ($\alpha = 0,05$). Conforme recomendado por Siegel (2006), isto ocorre para valor quando $r_s \geq 0,584$. O sinal negativo indica que uma das questões tinha sentido inverso e a discordância seria a resposta esperada.

As questões do indicador de associação A na Tabela 5.3 verificaram se eram utilizadas empresas especializadas em gerenciamento de resíduos para destinar os resíduos oriundos do processo produtivo ou os resíduos dos equipamentos eletroeletrônicos. Neste caso, era esperado que as empresas que estabelecem parcerias com empresas gerenciadoras de resíduos utilizassem este recurso para todos os seus resíduos.

Tabela 5.3 – Valores significativos do Coeficiente de Spearman para as associações entre questões

Indicador de associação	Questões associadas	Coeficiente de Spearman (r_s)	
A	2 (Bloco 1): Os resíduos gerados na produção são encaminhados para gerenciadoras ou cooperativas específicas para cada tipo de resíduos.	5 (Bloco 4): A destinação e tratamento correto dos resíduos eletroeletrônicos da empresa são realizados por empresa Gerenciadora de Resíduos.	0,596
B	3 (Bloco 1): Os resíduos da produção são encaminhados para a coleta pública.	1 (Bloco 4): A empresa elaborou seu plano de gerenciamento de resíduos sólidos conforme legislação vigente.	-0,691
C	4 (Bloco 1) : O processo de reciclagem e destinação final de seus resíduos produtivos são realizados sem acompanhamento da empresa.	2 (Bloco 4): As ações propostas no plano de gerenciamento de resíduos sólidos ainda não foram implantadas.	0,629
D	4 (Bloco 2):A empresa busca designs que facilitem a desmontagem, o reaproveitamento e a reciclagem dos equipamentos.	4 (Bloco 4): A empresa disponibiliza pontos de coleta, próprios ou terceirizados, para descarte de seus produtos.	0,605
E	1 (Bloco 3): As embalagens dos produtos da empresa oferecem informações sobre a destinação correta do produto após sua vida útil.	2 (Bloco 3): As informações sobre descarte, transporte, manuseio e armazenagem do produto são de exclusividade da empresa.	-0,584
F	1 (Bloco 3): As embalagens dos produtos da empresa oferecem informações sobre a destinação correta do produto após sua vida útil.	4 (Bloco 3): A empresa disponibiliza informações sobre os pontos de coleta dos seus equipamentos após sua vida útil.	0,617
G	2 (Bloco 3): As informações sobre descarte, transporte, manuseio e armazenagem do produto são de exclusividade da empresa.	4 (Bloco 3): A empresa disponibiliza informações sobre os pontos de coleta dos seus equipamentos após sua vida útil.	-0,593
H	2 (Bloco 3): As informações sobre descarte, transporte, manuseio e armazenagem do produto são de exclusividade da empresa.	6 (Bloco 4): Nem todos os produtos da empresa são contemplados com o processo de logística reversa.	0,619
I	4 (Bloco 3) : A empresa busca designs que facilitem a desmontagem, o reaproveitamento e a reciclagem dos equipamentos.	6 (Bloco 4): Nem todos os produtos da empresa são contemplados com o processo de logística reversa.	-0,689

A PNRS (BRASIL, 2010) exige que os planos de gerenciamento de resíduos sólidos contemplem, ao menos, um diagnóstico dos resíduos gerados e a definição de responsáveis e procedimentos do gerenciamento de resíduos. Analisando a associação B entre a questão 3 do Bloco 1 (encaminhamento dos resíduos de produção para a coleta pública) e a questão 1 do Bloco 4 (elaboração do plano de gerenciamento de resíduos sólidos) mostra que

as empresas que elaboraram o plano de gerenciamento não encaminham resíduos produtivos para a coleta pública. Da mesma forma, a associação C mostra que as empresas que já implantaram o plano de gerenciamento realizam o acompanhamento da gestão dos resíduos de sua produção.

A associação D da Tabela 5.3 demonstra que as empresas que se preocupam com o *design* dos equipamentos também se preocupam em disponibilizar pontos de coleta para descarte de seus produtos. Uma vez que estes produtos poderão ser desmontados, reaproveitados ou reciclados é importante descomplicar a devolução destes pelos consumidores após o uso.

As associações E e F demonstram que se as informações sobre o destinação correta dos produtos pós consumo são disponibilizadas pela empresa nas embalagens, também há disponibilização das informações sobre as melhores formas de uso e conservação do produto durante sua utilização, bem como informações sobre as formas de descarte e os pontos de coleta. E a associação G confirma que se a empresa disponibiliza um tipo de informação é provável que disponibilize também informações sobre os pontos de coleta dos equipamentos após o uso.

As associações H e I entre as questões 2 e 4 do Bloco 3, que indagam sobre disponibilização de informações aos consumidores, com a 6 do Bloco 4, que questiona se a empresa contempla todos os seus produtos com o sistema de logística reversa, mostrou que as que não tem o sistema de logística reversa implantado também não divulgam as informações sobre os produtos e pontos de coleta de forma ampla.

Com o objetivo de classificar as empresas, foram calculados os índices geral (IG_k) e índices de cada bloco do questionário (I_1 , I_2 , I_3 e I_4) para cada empresa (k). Os limites dos eixos horizontais foram definidos com base nos valores máximos e mínimos que poderiam ser encontrados para o índice, depois de aplicada a operação de inversão da equação 5.3, quando necessário. Por exemplo, o I_1 é composto por 5 questões que podem ter como resposta de 1 a 5, logo o mínimo que a empresa pode obter é 5 (5×1) e o máximo é 25 (5×5). As cores dos gráficos foram definidas dividindo o intervalo entre os valores mínimos e máximos em quatro partes iguais (25%) e cada parte foi identificada com uma cor, sendo a primeira vermelha e a última verde. Os números que identificam os pontos dos gráficos representam as empresas que participaram da pesquisa e variam de 1 a 19.

O gráfico resultante para o índice I_1 é mostrado na figura 5.9. Percebe-se que a maioria das empresas encontra-se na área verde do gráfico, o que evidencia que estas empresas estão buscando melhorias em seus processos produtivos, através da redução do consumo de água e energia, bem como demonstrando preocupação com a destinação dos resíduos da produção.

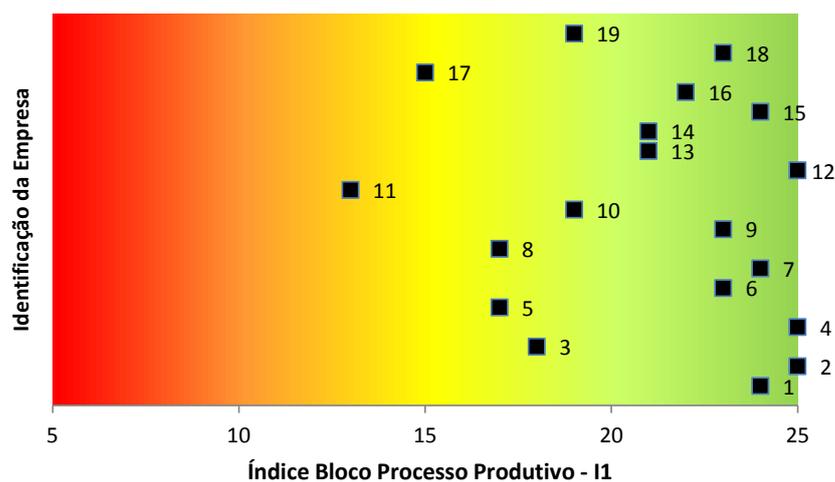


Figura 5.9– Índice do Bloco Processo Produtivo – I_1

A figura 5.10 apresenta o gráfico resultante para o índice I_2 , que mostra que a maioria das empresas encontra-se na parte inferior do gráfico. Este resultado evidencia que as empresas ainda não alteraram os produtos para substituir substâncias consideradas nocivas para o ser humano e meio ambiente, independente de ser ou não exigência legal. Além disso, há pouca preocupação com a reciclabilidade dos produtos em grande parte das empresas pesquisadas, mas cabe destacar que 3 empresas obtiveram o valor máximo para este índice.

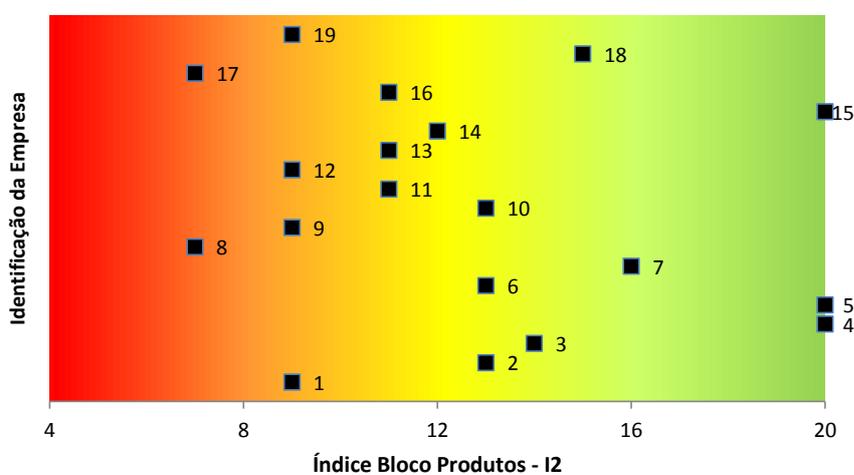


Figura 5.10– Índice do Bloco Produtos – I_2

O índice do Bloco Informações aos consumidores (I_3) está representado na figura 5.11. O valor máximo para este índice foi obtido por duas empresas. A maioria das empresas ficou na parte esquerda do gráfico, o que demonstra que as informações sobre o manuseio do produto durante a vida útil e sobre a destinação do produto após o uso não são disponibilizadas para os consumidores, ou são insuficientes.

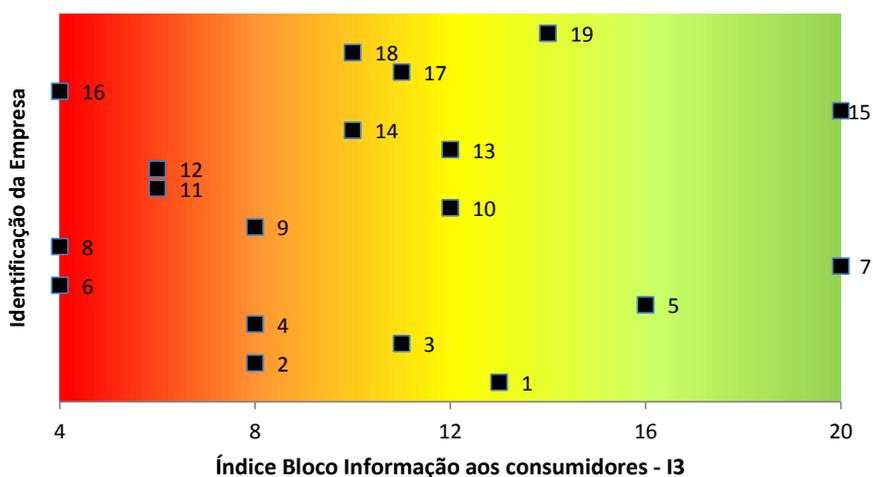


Figura 5.11– Índice do Bloco Informação aos consumidores – I_3

A figura 5.12 traz o gráfico para o índice I_4 , referente ao Bloco Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS). Percebe-se um agrupamento na metade direita do gráfico, evidenciando que a maioria das empresas caminha para o atendimento de pontos importantes da PNRS, como a elaboração de planos de gerenciamento de resíduos e participação na discussão da implantação da logística reversa para os resíduos eletroeletrônicos. Ressalta-se que apenas uma empresa alcançou o valor máximo para este índice.

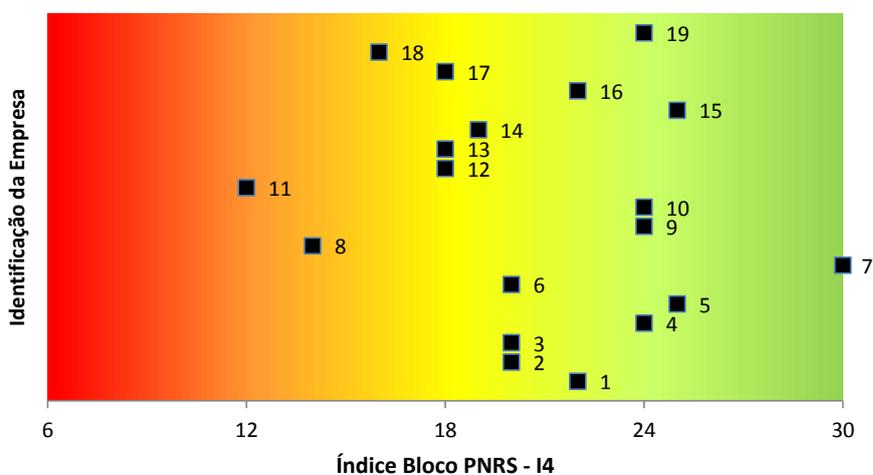


Figura 5.12– Índice do Bloco Política Nacional dos Resíduos Sólidos – I_4

O índice que aglutina as informações dos quatro blocos é o IG_k , mostrado na figura 5.13, sendo que este gráfico apresenta uma classificação das empresas pesquisadas. Duas empresas (7 e 15) apresentaram desempenho superior às demais e seus índices gerais próximos ao limite máximo. Estas duas empresas localizam-se na região metropolitana de Porto Alegre e são classificadas como sendo de grande porte. Outras duas empresas (4 e 5) também encontram-se nos últimos 25% da escala. Pode-se considerar que estas quatro empresas apresentam maior preocupação com o impacto de sua produção e resíduos de seus produtos e que estão mais organizadas para o atendimento de requisitos ambientais e legais.

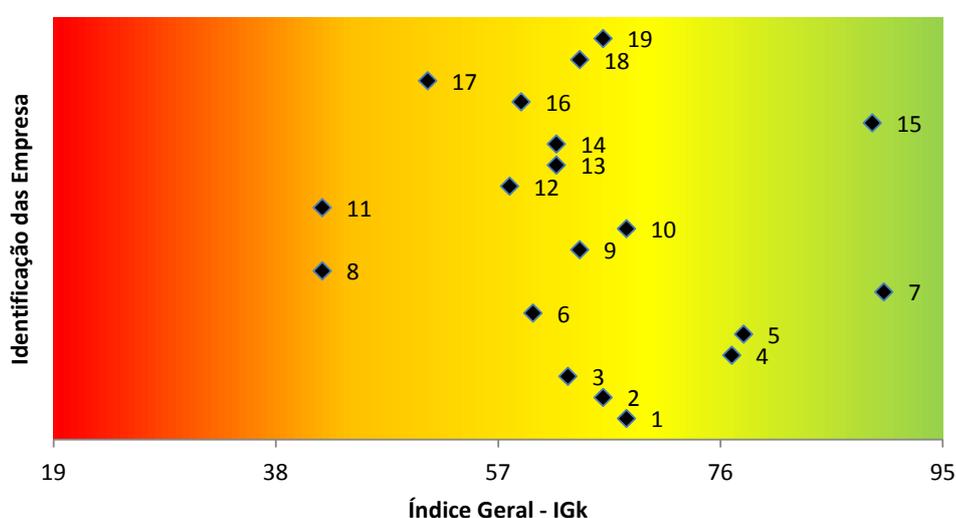


Figura 5.13– Índice geral

Observa-se também na figura 5.13 que a maioria das empresas encontra-se na área intermediária do gráfico e que duas empresas (8 e 11) obtiveram índices bem abaixo das demais. Estas empresas com menores índices localizam-se em Porto Alegre e são classificadas como micro ou pequena empresa. Este resultado mostra que é preciso investimentos nas empresas de menor porte para melhorar os processos produtivos e a composição dos produtos para possibilitar a implantação da logística reversa exigida na PNRS.

6 CONCLUSÃO

Avaliando os resultados apresentados na pesquisa, percebe-se que as empresas participantes têm trabalhado para melhoria de seus processos produtivos, reduzindo a geração de resíduos e dando a eles a destinação correta, bem como reduzindo o consumo de água e

energia. Sendo assim, a maioria das empresas demonstra que há preocupação em minimizar impactos ambientais gerados durante o processo de produção dos seus equipamentos.

Entretanto, em relação aos produtos e sua composição, nota-se que muitas empresas ainda não alteraram os projetos dos equipamentos eletroeletrônicos para utilizarem matérias primas menos agressivas ou para modificar o *design* para que seja facilitada a desmontagem e posterior reaproveitamento ou reciclagem destes produtos. Em relação às matérias primas, há necessidade de restringir o uso de determinadas substâncias para ter que os produtos nacionais possam competir no mercado europeu, mas também é importante restringir o uso de metais pesados para produtos consumidos no mercado interno, reduzindo o impacto ambiental no país e na população local.

Observando os resultados sobre as informações que são disponibilizadas aos consumidores se constata que as empresas não costumam fornecer informações sobre descarte (formas e locais), cuidados no armazenamento e transporte dos produtos. Estas informações precisam ser claras e estarem facilmente localizadas pelos consumidores, nas embalagens, manuais ou internet, pois estes são os responsáveis por descartar corretamente os produtos e dar início ao processo de logística reversa.

No bloco sobre a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) percebe-se que as empresas que elaboraram e implantaram seus planos de gerenciamento de resíduos sólidos começam a apresentar como resultados uma gestão responsável de seus resíduos. A questão dos resíduos eletroeletrônicos e o sistema de logística reversa exigido pela PNRS ainda não é realidade na maioria das empresas pesquisadas, uma vez que depende de um acordo setorial não finalizado até o momento, conforme informação do SINIR (2015).

Como resultado geral, é possível evidenciar que muitas empresas já realizaram modificações nos produtos e processos visando reduzir o impacto no meio ambiente e estão participando do acordo setorial, principalmente através de suas entidades representativas, para definir questões práticas do sistema de logística reversa que será implantado no Brasil, como a questão do custo de coleta e transporte e as responsabilidades de cada parte (governo, indústrias, comércio, importadores e consumidores). Desta forma, o cenário atual das empresas pesquisadas parece favorável à implantação da logística reversa para os EEE no Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica.** Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1362058667.pdf>. Acesso em: 28 mai 2015.

ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **Cenário setorial.** Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/abinee/decon/dados/cenarios.htm>>. Acesso em: 15 out 2015(a).

_____. **Crise hídrica preocupa indústrias do setor eletroeletrônico.** Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/noticias/com357.htm>>. Acesso em: 18 out 2015(b).

_____. **Desempenho setorial no Rio Grande do Sul.** 2011. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/desemset.pdf>>

AGDI - Agência Gaúcha de Desenvolvimento e Promoção do Investimento. **Dados do Programa Setorial: Eletroeletrônica, Automação e Telecomunicações.** Disponível em: <<http://www.agdi.rs.gov.br/?model=conteudo&menu=873>>. Acesso em: 10 out 2015.

ALMEIDA, F. **O bom negócio da sustentabilidade.** Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002.

BAMPI, S. (Coord.) **Perspectivas do investimento em eletrônica.** Rio de Janeiro: UFRJ, Instituto de Economia, 2009. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/empresa/pesquisa/pib/pib_eletronica.pdf>

BISQUERRA, R.; SARRIERA, J. C.; MARTÍNEZ, F. **Introdução à estatística: enfoque informático com o pacote estatístico SPSS.** Porto Alegre: Artmed, 2004.

BRAGA, B.; HESPANHO, I.; CONEJO, J.G.L.; *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Lei 12.305. **Política Nacional de Resíduos Sólidos.** 2010.

BUENO, Eduardo. **Indústria de ponta: uma história da industrialização do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Buenas Ideias, 2009.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. **Pesquisa CNI – IBOPE: retratos da sociedade brasileira: meio ambiente.** Brasília: CNI, 2010.

CP Eletrônica. **História da CP Eletrônica.** Disponível em: <<http://www.schneider-electric.com.br/sites/brasil/pt/produtos-servicos/marcas/cp-eletronica/cp-eletronica-historia.page>>. Acesso em: 19 out 2015.

DIGICON. **História e Missão.** Disponível em: <<http://digicon.com.br/site/pt/smadigicon.html>>. Acesso em: 19 out 2015.

ELETROS - Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos. **Quem somos**. Disponível em: <<http://eletros.org.br/portal.php/quem-somos>>. Acesso em: 18 out 2015.

EPA - Environmental Protection Agency. **Dioxins and Furans**. Disponível em: <<http://www3.epa.gov/epawaste/hazard/wastemin/minimize/factshts/dioxfura.pdf>>. Acesso em: 16 out 2015.

FIESP. **Gerenciando a Escassez de Água na Indústria**. Disponível em: <<http://hotsite.fiesp.com.br/aguanamedida/publicacao/folder-agua-industria.pdf>>. Acesso em: 19 out 2015.

FIPECAFI - Fundação Instituto de Pesquisa Contábeis, Atuariais e Financeiras. **Análise Multivariada**: para cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia. São Paulo: Atlas, 2007.

GREENPEACE. **Green Gadgets**. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/international/en/campaigns/detox/electronics/Guide-to-Greener-Electronics/Green-Gadgets/>>. Acesso em 26 out 2015.

_____. **Guide to Greener Electronics**. 2012. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/international/en/Guide-to-Greener-Electronics/18th-Edition/>>.

GUTIERREZ, R. M. V.; ALEXANDRE, P. V. M. **Complexo Eletrônico Brasileiro e Competitividade**. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, n. 18, p. 165-192, 2003.

HAIR, Jr., J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAN, R.L.; BLACK, W.C. **Análise multivariada de dados**. 5. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HAUSER, G.; ZEN, A. C.; SELAO, D. C.; GARCIA, P. L. A Indústria Eletrônica no Brasil e na China: Um Estudo Comparativo e a Análise das Políticas Públicas de Estímulo a Capacidade Tecnológica do Setor. **J. Technol. Manag. Innov.**, v. 2, n. 3., p. 85-96, 2007.

LAU, J. H.; WONG, C.P.; LEE, N.C.; LEE, S.W.R. **Electronics Manufacturing: With Lead-Free, Halogen-Free, and Conductive-Adhesive Materials**. New York: McGraw-Hill Professional, 2003.

LEITE, P.R. **Logística Reversa**: meio ambiente e competitividade. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

MATTAR, Fauze Najib. **Pesquisa de Marketing**. Edição Compacta. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Logística Reversa – Sistemas Implantados**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/logistica-reversa/sistemas-implantados>>. Acesso em: 15 out 2015(a).

_____. **BRA/08/G32: estabelecimento da gestão de resíduos de PCB e sistema de disposição**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/comunicacao/item/43>>. Acesso em: 15 out 2015(b).

_____. **O que é consumo consciente.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/consumo-consciente-de-embalagem/principio-dos-3rs/item/759126/10>>. Acesso em: 17 out 2015(c).

NASCIMENTO, L. F.; LEMOS, A. D. C.; MELLO, M. C. A. **Gestão Socioambiental Estratégica.** Porto Alegre: Bookmann, 2008.

NASSIF, A. **O Complexo Eletrônico Brasileiro.** Série BNDES 50 Anos: Histórias Setoriais. Rio de Janeiro. 2002. Disponível em: <http://www.bndespar.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro_setorial/setorial08.pdf>.

NNOROM, I.C.; OSIBANJO, O. Overview of electronic waste (e-waste) management practices and legislations, and their poor application in the developing countries. **Resources, Conservation & Recycling.** v. 52, p. 843-858. 2008.

OLIVEIRA, L. N.; FREITAS, L. S. Uso do FMEA como ferramenta de avaliação dos aspectos e impactos ambientais numa indústria de microeletrônica. **Revista Gestão Industrial.** v. 9. n. 4. 2013.

OLIVEIRA, L.H.; CHIESI, F.K.; BARBIERI, J.C. Manufatura reversa e gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos: o Caso da Oxil. **Anais.** XXIII ENANGRAD - Encontro Nacional dos Cursos de Graduação em Administração. Bento Gonçalves, 2012.

PARLAMENTO EUROPEU. **Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment.** Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02011L0065-20150624>>. Acesso em: 18 out 2015(a).

_____. **Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)** Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32012L0019>>. Acesso em: 18 out 2015(b).

RUIZ, M.S.; CORTES, P. L.; TEIXEIRA, C.E.; AGUIAR, A.O. Diretiva RoHS: nova barreira técnica ambiental às exportações brasileiras? **Anais.** ENGEMA - Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 2011.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Anuário do trabalho.** 2014. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Anuario-do%20trabalho-na%20micro-e-pequena%20empresa-2014.pdf>>.

SIEGEL, S. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento.** 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

SINIR. **Logística Reversa.** Disponível em: <<http://sinir.gov.br/web/guest/logistica-reversa>>. Acesso em: 18 nov 2015.

SPEROTTO, F. Q. **Um giro pelos circuitos eletrônicos brasileiro e gaúcho**. Fundação de Economia e Estatística (FEE). Ano 23, nº 08, 2014. Disponível em: <<http://carta.fee.tche.br/article/um-giro-pelos-circuitos-eletronicos-brasileiro-e-gaucha/>>.

TUASAUDE. **Principais sintomas de contaminação por metais pesados**. Disponível em: <<http://www.tuasaude.com/principais-sintomas-de-contaminacao-por-metais-pesados/>>. Acesso em: 20 out 2015.

VALOR. **Ranking das maiores empresas – Setor eletroeletrônico**. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/valor1000/2015/ranking1000maiores/Eletroeletronica>>. Acesso em 19 out 2015.

WANG, Hsiao-Fan; GUPTA, Surendra M. **Green Supply Chain Management Product Life Cycle Approach**. Columbus: McGrawHill, 2001.

6 ARTIGO 5: Seleção de variáveis para um modelo de previsão de demanda para resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no contexto da logística reversa

Variable selection for forecasting model of waste electrical and electronic equipment
in the context of reverse logistics

Artigo será submetido ao periódico

Resources, Conservation and Recycling

Qualis A2 (Engenharia III)

Resumo

Os fabricantes, distribuidores, importadores e comerciantes de produtos eletroeletrônicos no Brasil são obrigados pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) a instituir um sistema de logística reversa para seus produtos. A previsão de demanda é uma ferramenta que pode auxiliar na implementação desta logística. Sendo assim, este artigo tem por objetivo selecionar variáveis a serem utilizadas como base de um modelo de previsão de demanda para os Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE). Trata-se de uma pesquisa exploratória e descritiva, desenvolvida por meio de revisão da literatura e da aplicação do Método de Análise Hierárquica (AHP). A lista das 21 variáveis (fatores) que poderiam compor um modelo de previsão de demanda para REEE foi obtida com base na literatura e nos capítulos anteriores desta tese. Estes dados foram organizados em um questionário para que especialistas pudessem realizar as análises paritárias de importância, sendo o questionário respondido por 3 especialistas. Após aplicação do método AHP e do cálculo dos pesos ponderados, obteve-se a classificação conforme a importância média atribuída pelos especialistas. Foram selecionadas 7 variáveis (33% do total) que representam 71,1% dos pesos ponderados, destacando-se a estimativa de vida útil do equipamento como a mais relevante.

Palavras-chave: Seleção de Variáveis, Logística Reversa, REEE, Previsão de Demanda

Abstract

The electrical and electronic equipment producers (manufacturers, importers, distributors and dealers) are required to establish a reverse logistics system for its products by the National Solid Waste Policy (PNRS) in Brazil. Demand forecasting is a tool that can assist the implementation of this reverse logistics. This article aims to select variables to be used as the basis of a demand forecasting model for Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). This is an exploratory and descriptive research, developed through a literature review and application of the Analytic Hierarchy Process (AHP). The list of 21 variables (factors) that could compose a demand forecasting model for WEEE was obtained based on the literature and in the previous chapters of this thesis. These data were organized into a questionnaire so that experts could carry out the parity analyzes of importance and the questionnaire was answered by 3 experts. After application of the AHP and the calculation of the relative weights, was obtained the classification as the average importance given by experts. We selected seven variables (33% of the total) representing 71.1% of the weights, highlighting the life of the equipment was estimated as the most relevant factor.

Key-words: Variable selection, Reverse Logistics, WEEE, Forecasting

1 INTRODUÇÃO

Devido às constantes inovações e expansão do mercado, é acelerada a substituição equipamentos eletroeletrônicos (EEE) por produtos com tecnologias mais modernas ou que ofereçam novos serviços. Com isso, os EEE substituídos chegam ao final de sua vida útil, tornando-se resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), segundo o Parlamento Europeu (2015).

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos, aprovada em agosto de 2010, estabelece a obrigatoriedade da implantação da Logística Reversa para os produtos eletroeletrônicos e define que este processo é de responsabilidade compartilhada entre fabricantes, distribuidores, comerciantes e importadores (BRASIL, 2010). Fleischmann (2000) define logística reversa como o processo de planejar, implementar e controlar, de forma eficiente e efetiva, o fluxo de entrada e o armazenamento dos bens secundários, no sentido oposto ao tradicional das cadeias de suprimentos, com o propósito de recuperar o valor ou destinar adequadamente este bem.

Para implantar um sistema de logística reversa com sucesso existem vários pontos que precisam ser observados. Segundo Lacerda (2013) e Leite (2009) é necessário conhecer características dos produtos a serem captados: quantidade, peso, tamanho, cuidados necessários para transporte, identificação do estado dos materiais. Além destes aspectos, a localização geográfica dos pontos de coleta e dos destinos (centros de consolidação, desmanche, reciclagem e remanufatura) também pode influenciar o processo.

Para planejamento e dimensionamento da estrutura necessária para a logística reversa dos REEE é preciso realizar uma previsão de demanda, que, segundo Abraham e Ledolter (2013), é fazer um prognóstico de eventos futuros. Uma das dificuldades para realizar esta previsão de demanda é conhecer quais são os fatores que têm influência na questão.

Sendo assim, o objetivo deste artigo é selecionar variáveis a serem utilizadas como base para um modelo de previsão de demanda para REEE, dando subsídios para o planejamento e implantação da logística reversa para estes resíduos, especificamente no Rio Grande do Sul.

2 LOGÍSTICA REVERSA

A logística, segundo Leite (2009), tem como missão disponibilizar bens e serviços no local, no tempo, na quantidade e com a qualidade solicitadas. Do ponto de vista empresarial, a logística tem assumido um papel estratégico e é definida por Ballou (2007) como a atividade que propicia o fluxo de bens, serviços e informações desde o ponto de aquisição até o ponto de consumo, objetivando atender adequadamente os clientes. Já a logística reversa, segundo Rogers e Tibben-Lembke (1999), é um processo de planejamento, implantação e controle do fluxo de matérias primas, de produtos em processo, de produtos acabados e das informações, no sentido inverso ao da logística convencional, como mostrado na Figura 6.1.

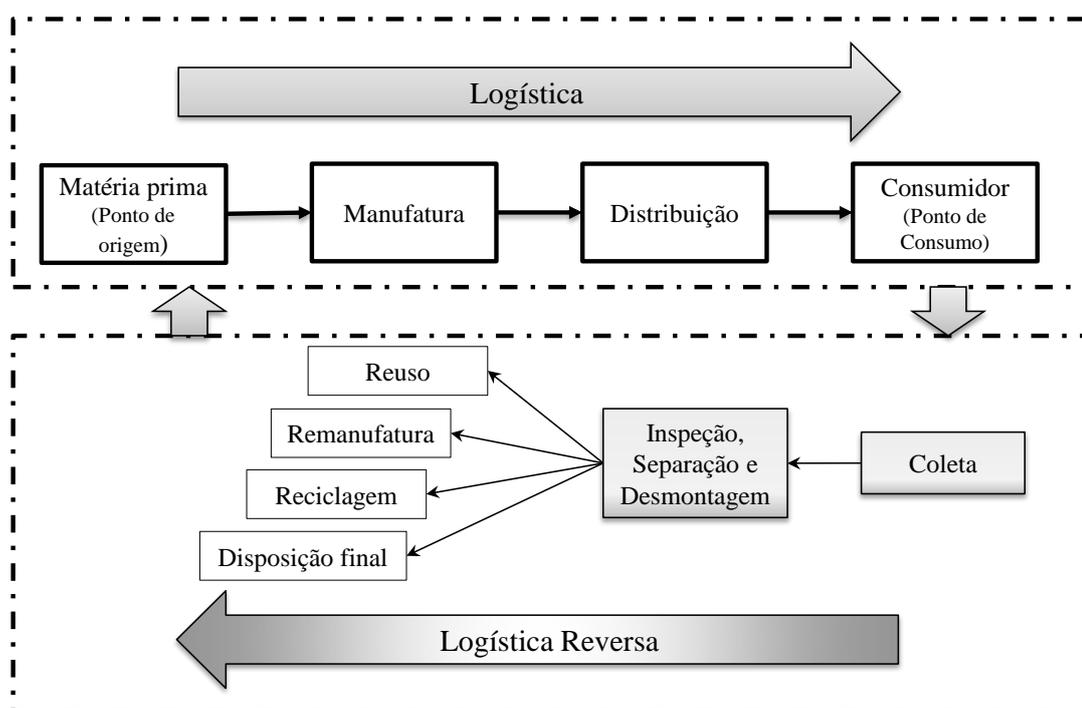


Figura 6.1– Esquemas dos processos de Logística e de Logística reversa

Fonte: Adaptado de Leite (2009) e Badenhorst (2013)

Segundo Badenhorst (2013), a figura 6.1 apresenta etapas básicas para a logística reversa: coleta, inspeção, separação e desmontagem. Após estas etapas, quando o produto mantém suas funcionalidades, pode ser reutilizado, doado ou vendido. Fleischmann (2000) afirma que o produto pode ser remanufaturado, processo que ocorre quando as partes essenciais podem ser aproveitadas e é possível reconstituir o produto com a substituição de componentes complementares. A opção da reciclagem consiste em transformar o produto em

matérias primas que possam ser reintegradas ao processo produtivo para produção de novos produtos. Já Leite (2009) acrescenta que a disposição final deve ser a última alternativa e ser utilizada apenas para materiais sem condições de revalorização, e que esta destinação deve ser ambientalmente segura e adequada.

A logística reversa pode ser classificada em duas categorias, conforme Leite (2009): pós-venda e pós-consumo. A logística reversa de pós-venda trata do fluxo de produtos e materiais com pouco ou nenhum uso, que retornam por problemas de qualidade, final de contrato de consignação, problemas comerciais, etc. Já a logística reversa de pós-consumo se preocupa com o fluxo reverso de produtos e materiais descartados ao fim de sua utilização pelo consumidor e, segundo Fleischmann (2000), pode representar a obtenção de recursos valiosos e economicamente atraentes.

A logística reversa pós-consumo tornou-se obrigatória no Brasil a partir da aprovação Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), em agosto de 2010, para equipamentos eletroeletrônicos, agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes e alguns tipos de lâmpadas. O objetivo da PNRS é viabilizar a coleta dos resíduos e sua restituição ao setor produtivo para reaproveitamento ou para destinação adequada (BRASIL, 2010).

Brito e Dekker (2003) apresentam quatro questões que devem ser analisadas para o sucesso da implantação do sistema de logística reversa. A primeira questão trata das razões para o descarte dos produtos. Os consumidores descartam os produtos por problemas de qualidade, por dificuldade financeira dos consertos e por obsolescência. Segundo Osibanjo, Nnorom e Ogbonna (2008), a obsolescência pode ser determinada pelo desgaste ou perda de funcionalidade do produto, pela oferta de produtos com tecnologias avançadas, pelo design diferenciado de novos produtos ou pelo apelo psicológico dos novos modelos.

Conhecer os produtos que são descartados é a segunda questão. É preciso conhecer as características dos produtos, como o número de componentes, os tipos de materiais utilizados (plásticos, metais, óleos, químicos...) e a forma de agrupamento destes materiais, por exemplo, para determinar o quanto o produto pode ser reutilizado ou reprocessado, influenciando no fator econômico da logística reversa (BRITO e DEKKER, 2003). Rahmani *et al.* (2014) acrescentam que é preciso conhecer os dados de produção e vendas dos produtos, bem como o tempo de vida útil, que é de difícil determinação para produtos que são substituídos com mais frequência, como celulares e computadores. Além

disso, Dwivedy e Mittal (2010) afirmam que a vida útil de alguns produtos é diferente para cada país e tem natureza subjetiva, dependendo muito da decisão do primeiro usuário que pode armazenar o produto por tempo indeterminado ou encaminhá-lo para o processo de logística reversa.

O terceiro ponto importante, conforme Brito e Dekker (2003), é conhecer os atores envolvidos no processo de logística reversa. É preciso considerar as responsabilidades e influências de cada um dos atores no processo, sejam fabricantes, fornecedores, varejistas, empresas especializadas em reciclagem, governo e consumidores (BRITO; DEKKER, 2003; NNORON; OSIBANJO, 2008). Gutiérrez *et al.* (2010) salientam que as etapas essenciais da logística reversa, coleta e tratamento dos resíduos, dependem especialmente dos hábitos de descarte dos consumidores.

A última questão que deve ser analisada refere-se à forma de implantação da logística reversa. Segundo Leite (2009) e Kang e Schoenung (2006) existem fatores que auxiliam para se implantar um sistema de logística reversa com sucesso. É necessário conhecer as características dos produtos a serem captados, como quantidade, peso e tamanho, bem como o momento e local onde ocorrerá o descarte destes produtos em curto e longo prazo. Estas informações servem de base para determinação da infraestrutura que deve ser estabelecida para a logística reversa, como transporte, localização dos pontos de coleta, definição dos destinos dos produtos descartados e implantação de um sistema de informação para gerenciamento do processo.

Leite (2009) e Kang e Schoenung (2006) acrescentam algumas condições para que o fluxo reverso se estabeleça de forma adequada: (i) remuneração em todas as etapas e que permitam a reintegração da matéria prima no mercado; (ii) qualidade satisfatória da matéria prima reciclada; (iii) condições que permitam a escala econômica da atividade, em relação a quantidade de reciclados e constância no tempo; (iv) existência de mercado para os produtos com matérias primas recicladas; e (v) legislação que incentive a reciclagem e o estabelecimento de plantas industriais de revalorização dos produtos descartados.

3 RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS

A diretiva 2002/96/CE do Parlamento Europeu apresenta a definição de equipamento eletroeletrônico (EEE), limitando sua tensão nominal em 1000 V (corrente alternada) ou 1500 V (corrente contínua), como aquele que depende de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos para seu funcionamento (PARLAMENTO EUROPEU, 2015). No Brasil, os equipamentos eletroeletrônicos podem ser classificados, conforme ABDI (2015), em quatro linhas: (i) Linha Branca, que são os equipamentos de grande porte, como refrigeradores e lavadoras de roupa; (ii) Linha Marrom, os equipamentos de som e imagem como aparelhos de som, televisores e telefones; (iii) Linha Azul, os equipamentos de porte médio e pequeno, como secadores de cabelo e liquidificadores; e (iv) Linha Verde, os equipamentos de Tecnologia da Informação, como computadores, *tablets*, celulares e acessórios.

Estes equipamentos eletroeletrônicos, suas peças e partes, tornam-se resíduos de equipamentos eletroeletrônicos ao fim sua vida útil ou por descontinuidade de uso (XAVIER *et al.*, 2012). A vida útil dos EEE apresenta variações conforme poder econômico e nível educacional da população, porte e tipo de equipamento, dentre outros fatores, segundo Gutiérrez *et al.* (2010). Os tempos de vida útil considerados pela ABDI (2015) variam para cada linha de produtos eletroeletrônicos, assim como a estimativa de peso. Estes dados são apresentados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Dados dos equipamentos eletroeletrônicos

Linha	Porte	Vida útil	Peso
Branca	Grande	10 a 15 anos	30 a 70 kg
Marrom	Médio	5 a 13 anos	1 a 35 kg
Azul	Pequeno	10 a 12 anos	0,5 a 5 kg
Verde	Pequeno	2 a 5 anos	0,09 a 30 kg

Fonte: ABDI (2015)

No trabalho realizado por Xavier *et al.* (2012) foi estimado que para uma tonelada de REEE, após separação e devido tratamento, é possível obter em torno de 350 Kg de ferro, 70 Kg de alumínio, 150 Kg de fibras e plásticos, 170g de cobre, 25g de chumbo, 300g de ouro e 300g de prata, além de outros materiais. Os EEE são compostos por vários tipos de materiais e alguns equipamentos possuem maior quantidade de metais nobres em relação ao seu peso total, como os celulares, já impressoras, possuem mais plástico.

A figura 6.2 apresenta um mapeamento da cadeia direta e reversa para os REEE, que mostra o ciclo direto (fabricação, distribuição e consumo) seguido pelo ciclo reverso, que se inicia com a importante decisão do primeiro usuário para o produto. O REEE pode ser reutilizado (doação, venda, armazenamento), ser encaminhado para organizações de coleta/segregação, ser remanufaturado ou ser disposto de forma incorreta. A partir deste ponto, o REEE pode passar pelo mercado informal, por atravessadores, por organizações recicladoras, ser encaminhado para aterros ou ter uma disposição final não segura. O caminho mais adequado do ponto de vista ambiental é o que se encerra nos fornecedores de matéria prima, devolvendo partes do produto ao ciclo produtivo. Todo o processo deve ser acompanhado por órgãos reguladores, especialistas e pesquisadores (SANTOS, 2012).

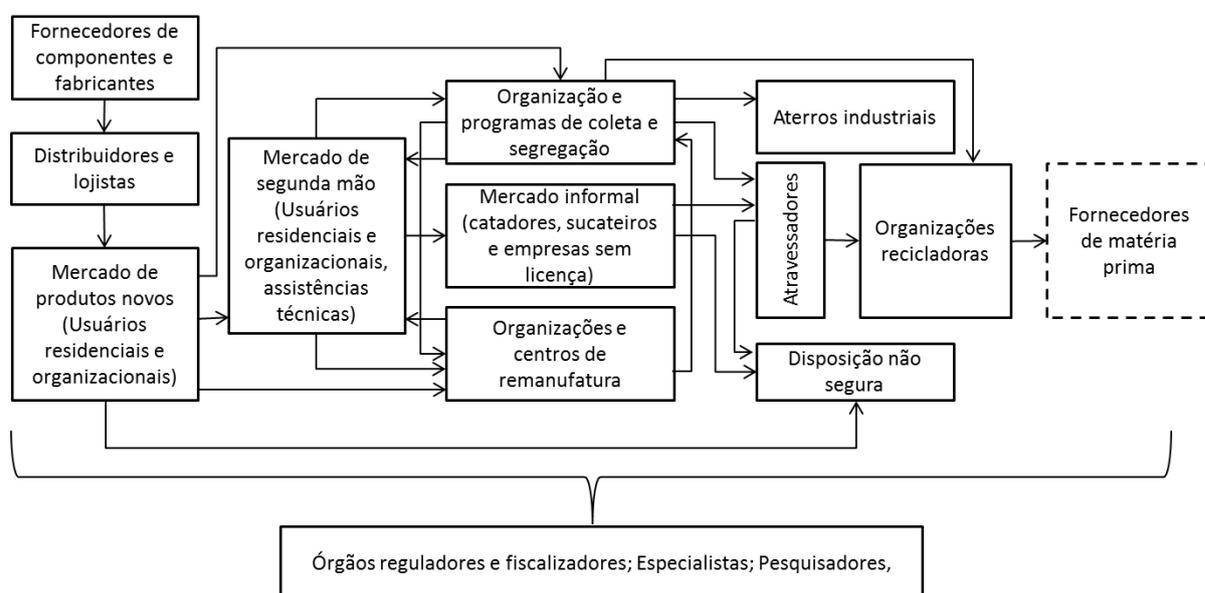


Figura 6.2- Mapeamento da Cadeia Reversa dos REEE.

Fonte: SANTOS (2012)

Em pesquisa realizada na cidade de Belo Horizonte/MG, Franco e Lange (2011) verificaram que o destino mais utilizado pelos consumidores particulares para aparelhos de telefonia móvel, após sua vida útil, era a doação (34%) e somente 2% enviava o equipamento para reciclagem. Já no *survey* realizado por Gutiérrez *et al.* (2010) na Espanha foram apresentados os percentuais de destinação de EEE após serem substituídos por novos equipamentos e chama a atenção os percentuais de EEE que são encaminhados para disposição não segura: 48% dos televisores, 40% das geladeiras e 59% dos ferros de passar roupa.

4 PREVISÃO DE DEMANDA

Abraham e Ledolter (2013) afirmam que realizar uma previsão é fazer um prognóstico de eventos futuros. O principal objetivo das previsões é reduzir as incertezas e subsidiar decisões, conforme Render, Stair Jr e Hanna (2010). Nas organizações, segundo Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009), as previsões servem para identificar possíveis problemas e/ou demandas, dimensionar a produção e traçar planos de ação.

Os métodos de previsão podem ser qualitativos, quantitativos ou a combinação destes (ARMSTRONG, 2001). Os modelos qualitativos, segundo Render, Stair Jr e Hanna (2010), baseiam-se em julgamentos dos previsores e são subjetivos, mas podem ser úteis quando não existem dados quantitativos disponíveis ou no lançamento de novos produtos.

Os métodos quantitativos envolvem modelos matemáticos e, conforme Morettin e Toloí (2004), podem ser classificados em modelos causais ou de séries temporais. Os autores afirmam que a vantagem destes métodos é a possibilidade de estimar os erros, o que permite selecionar os melhores métodos para cada situação. Uma limitação dos métodos quantitativos é a necessidade de conhecer o comportamento dos dados no passado, o que pode não ser aplicável em algumas situações. Para escolha do modelo deve ser considerado o comportamento da demanda em análise e as características dos dados como sazonalidade, tendência e aleatoriedade.

Costantine e Pappalardo (2010) afirmam que a combinação de métodos qualitativos e/ou quantitativos é uma alternativa para gerar previsões com maior acurácia. Armstrong (2001) acrescenta que o ganho de acurácia ocorre devido à combinação de previsões incorporar características captadas nas diferentes previsões individuais. Entre os pesquisadores que estudam a previsão de demanda existe um contínuo interesse pela aplicação de modelos matemáticos aliados ao julgamento humano.

5 MÉTODO

O artigo terá como método as etapas mostradas na figura 6.3. Esta é uma pesquisa exploratória e descritiva. Malhotra (2011) afirma que a pesquisa exploratória visa examinar um problema ou uma situação para ampliar os conhecimentos do pesquisador e possibilitar

direcionamentos futuros sobre o tema. Já a pesquisa descritiva visa caracterizar determinada população ou fenômeno ou ainda estabelecer relações entre variáveis, conforme Kauark, Manhães e Medeiros (2010). No caso deste trabalho, a revisão bibliográfica configura a parte exploratória, enquanto o levantamento para seleção de variáveis caracteriza a pesquisa descritiva.

Etapas	Descrição das atividades	Resultados
1ª etapa: Base teórica	<ul style="list-style-type: none"> - Leitura de livros, artigos científicos e outros materiais relevantes - Pesquisas realizadas pelas autoras sobre o tema 	Lista das variáveis potenciais para modelo de previsão de demanda dos REEE
2ª etapa: Seleção de Variáveis	<ul style="list-style-type: none"> - Definição do método de seleção de variáveis - Elaboração do questionário para especialistas - Aplicação do método selecionado 	Priorização das variáveis
3ª etapa: Discussão e Conclusão	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliação e discussão dos resultados obtidos - Conclusão do trabalho 	Apresentação das variáveis relevantes e sugestões de modelos de previsão de demanda

Figura 6.3 – Método

A revisão da literatura familiariza e eleva a compreensão de determinado assunto por parte do pesquisador, segundo Mattar (2008). Para tanto foram consultados, principalmente, periódicos científicos, livros e *sites* especializados. Além disso, foram considerados trabalhos realizados pelas pesquisadoras nos últimos anos sobre aspectos legais, sociais e ambientais dos REEE. Com esta base teórica é possível identificar variáveis que podem contribuir para a elaboração de um modelo de previsão de demanda para os REEE.

Os modelos de previsão de demanda são compostos por variáveis e a seleção destas variáveis dá início à segunda etapa deste trabalho. Para o modelo resultante de uma análise de regressão múltipla Hair *et al.* (2005) classifica as variáveis em dependentes (resposta ou efeito) ou independentes (causas). Em geral existe um elevado número de variáveis envolvidas e, segundo Senra *et al.* (2007), a maioria dos trabalhos utiliza a opinião de especialistas ou a disponibilidade de dados para selecionar as variáveis do modelo.

Anzanello (2009) afirma que é preciso selecionar as variáveis mais relevantes para configurar os modelos utilizando métodos adequados. Metodologias de análise multicritérios são utilizadas quando os problemas envolvem critérios que estão interligados, alguns critérios não são quantificáveis ou a solução do problema depende de pessoas com pontos de vista distintos (GOMES; GOMES; ALMEIDA, 2009).

Uma das principais características da análise multicritérios, segundo Costa (2004), é reconhecer a subjetividade inerente aos problemas de decisão e tratar cientificamente os julgamentos de valor. Dentre as principais metodologias que utilizam esta abordagem ressalta-se o Método de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchic Process*, AHP), proposto por Thomas L. Saaty na década de 1970.

Saaty e Vargas (2012) afirmam que o AHP é uma forma de selecionar a melhor alternativa de acordo com alguns critérios, considerando a razão e a intuição para tomada desta decisão. As etapas do AHP, segundo Costa (2004), são: (i) Construção de hierarquia; (ii) Aquisição de dados com especialistas; (iii) Cálculo da prioridade de cada alternativa em relação ao foco principal; e (iv) Análise da consistência.

A estruturação do AHP é uma hierarquia com três níveis, sendo que o objetivo da decisão fica no primeiro nível, os critérios no segundo e as alternativas no terceiro, conforme figura 6.4. A construção da hierarquia é semelhante ao raciocínio humano e deve considerar objetivo, atributos, problemas e pessoas (*stakeholders*) que tem relação com o problema para fornecer uma visão geral dos complexos relacionamentos inerentes à situação e dar subsídios para o avaliador realizar seus julgamentos (SAATY; VARGAS, 2012).

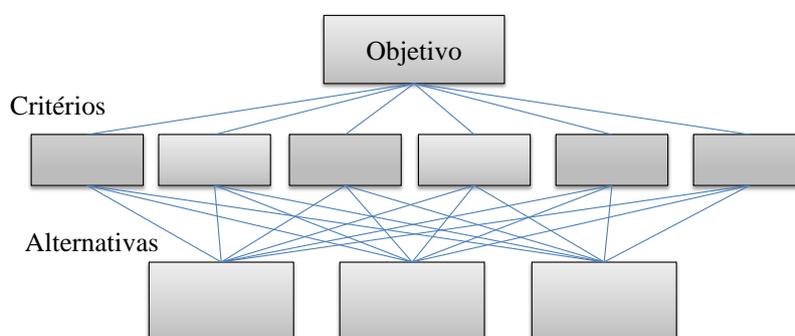


Figura 6.4– Níveis de hierarquia
Fonte: Saaty e Vargas (2012)

A aquisição dos dados é a etapa seguinte do AHP. Para isso é preciso elaborar um questionário para realização dos julgamentos paritários pelos avaliadores. Costa (2004) salienta que os avaliadores precisam ter alto conhecimento sobre o tema em julgamento. As comparações paritárias são realizadas utilizando a escala da Tabela 6.2, porém os valores intermediários (2, 4, 6 e 8) podem ser utilizados.

Tabela 6.2 - Intensidade de importância do fator i em relação ao fator j

Intensidade de importância	Definição
1	Fatores i e j com igual importância
3	Fator i tem importância moderada em relação ao fator j
5	Fator i tem importância forte em relação ao fator j
7	Fator i tem importância muito forte em relação ao fator j
9	Fator i tem importância absoluta em relação ao fator j

Fonte: Adaptado de Saaty e Vargas (2012)

A aquisição destas comparações dará origem a uma matriz de julgamento positiva e recíproca, segundo Saaty e Vargas (2012). Os elementos a_{ij} desta matriz A são as atribuições de intensidade de importância do fator da linha i em relação ao fator da coluna j . Com isso, é possível calcular o peso relativo de cada fator através do cálculo do autovetor da matriz. Entretanto, caso não seja possível calcular o autovetor, os autores apresentam formas alternativas para cálculos dos pesos. A figura 6.5 mostra uma destas alternativas, que consiste em normalizar os elementos de cada coluna da matriz de julgamento e realizar a média aritmética de cada linha normalizada para obter o peso relativo do fator i .

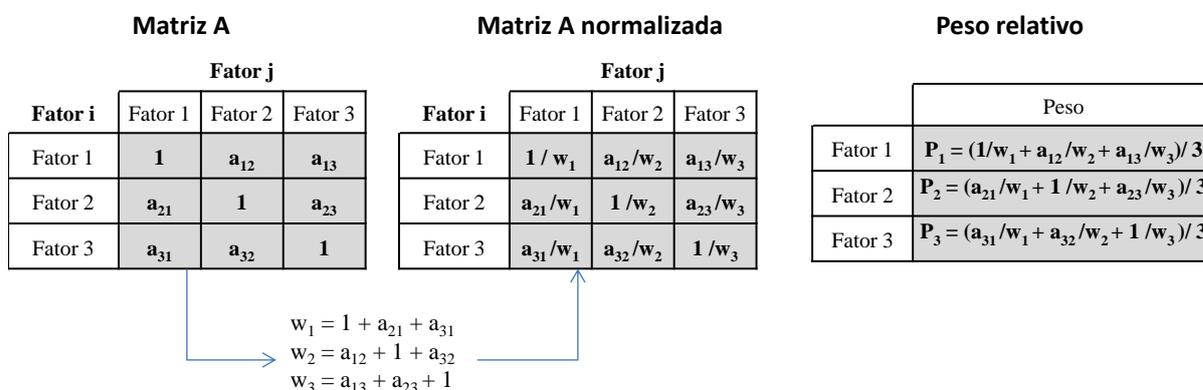


Figura 6.5 – Passos para cálculo do peso relativo do fator i

É preciso avaliar a matriz A para verificar a consistência das opiniões dos especialistas. Uma matriz de comparações de dimensão N é consistente, segundo Saaty e Vargas (2012), quando o maior autovalor (λ_{\max}) tem valor igual a N . Caso a matriz não seja consistente, uma forma de mensurar o grau desta inconsistência é avaliar o distanciamento do λ_{\max} da ordem N da matriz através de um Índice de Consistência (IC) apresentado na equação 6.1.

$$IC = (\lambda_{\max} - N) / (N - 1)$$

Equação 6.1

A Razão de Consistência (RC) é uma medida para avaliar a consistência da matriz, conforme mostrado na equação 6.2. Para que a matriz seja considerada consistente, o valor de RC não deve ultrapassar 0,1. Caso isso ocorra, é preciso revisar o modelo ou os julgamentos, pois mais de 10% das comparações foram realizadas sem critério (SAATY; VARGAS, 2012).

$$RC = IC / IR \quad \text{Equação 6.2}$$

IR é o Índice aleatório de consistência, cujo valor pode ser obtido na Tabela 6.3. O valor deste índice varia conforme a dimensão N da matriz.

Tabela 6.3 – Valores de IR

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: Saaty e Vargas (2012)

Sendo os fatores avaliados por mais de um especialista é preciso realizar a média aritmética dos pesos relativos atribuídos por cada especialista para encontrar o peso relativo médio do fator. A importância de cada fator será determinada pelo peso ponderado do fator. Esta ponderação será dada pela multiplicação do peso relativo médio do fator do nível 3 do AHP pelo peso relativo do agrupamento que este fator faz parte (nível 2 do AHP).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para definição de um modelo de previsão de demanda para REEE é preciso definir as variáveis dependentes e independentes. No caso deste trabalho, a variável dependente é a resposta desejada para a previsão de demanda dos REEE e as variáveis independentes são os fatores que explicam o fenômeno e contribuem para a decisão de descarte do equipamento pelo usuário.

Na revisão sistemática realizada no capítulo 2, buscou-se informações sobre a forma que as previsões de demanda de REEE foram realizadas por outros autores, a variável resposta mais utilizada foi a quantidade de REEE. Os trabalhos realizados por Yang e Williams (2009), Rahmania *et al.* (2014) e Habuer, Nakatani e Moriguchi (2014) são

exemplos que utilizaram esta variável resposta. Sendo assim, neste trabalho a variável resposta será a quantidade, em unidades de REEE, de determinada região geográfica e período de tempo.

As potenciais variáveis explicativas para o modelo de previsão de demanda de REEE foram obtidas na literatura, buscando informações sobre os REEE e logística reversa, e nos artigos apresentados nos capítulos 2, 3, 4 e 5 desta tese. Na revisão sistemática do capítulo 2, por exemplo, dados de comércio (vendas, importação, exportação e taxas de crescimento) dos EEE foram citados em 71,4% dos trabalhos pesquisados. Para identificação das variáveis mais importantes para futura construção do modelo de previsão de demanda para os REEE foi utilizada a metodologia AHP, uma vez que não existem dados disponíveis que permitissem a avaliação estatística da importância destas variáveis para um modelo de previsão de demanda.

A primeira fase do AHP é a construção da hierarquia. O primeiro nível do método AHP neste trabalho tem por objetivo avaliar a importância das variáveis para embasamento de um modelo de previsão da quantidade de REEE, bem como determinar a intensidade desta importância.

O segundo nível do AHP baseia-se, para agrupamento das variáveis, nos 4 *stakeholders* envolvidos no processo de logística reversa dos REEE que são, segundo Nnorom e Osibanjo (2008), os consumidores, os fabricantes, o governo e as empresas gerenciadoras de REEE. Foram realizadas pequenas alterações na nomenclatura deste nível para facilitar o entendimento dos futuros respondentes.

Já o terceiro nível é composto pelas variáveis que detalham o nível anterior. Estas variáveis explicativas estão mostradas no Quadro 6.1, bem como as referências que as citam como importantes para implantação de logística reversa ou para cálculo de previsão de demanda para REEE. O quadro 6.1 também apresenta a quantidade de vezes que a variável foi citada na literatura utilizada neste trabalho, bem como sua classificação considerando que a mais citada ocupa a posição nº 1 e que foram utilizadas as médias aritméticas das posições em casos de empate.

A aquisição dos dados com especialistas é a segunda fase do AHP. Neste trabalho esta aquisição foi realizada utilizando um questionário para buscar a opinião dos especialistas sobre a variável mais importante em uma combinação paritária, bem como a intensidade desta importância para o desenvolvimento de um modelo de previsão de demanda para REEE. O

questionário é apresentado no Apêndice 6A e foi organizado utilizando a escala proposta por Saaty e Vargas (2012) para comparação de fatores.

Quadro 6.1 – Níveis 2 e 3 do AHP

NÍVEL 2	NÍVEL 3		Referências												Quantidade (Posição)										
	Item	Fatores / variáveis	ABDI (2015)	Araújo et al (2012)	Brito e Dekker (2003)	Dwivedy e Mittal (2010)	Franco e Lange (2011)	Habuier, Nakatani e Montgouch (2014)	Leite (2009)	Rahmani et al (2014)	Rogers e Tibben-Lembke (1999)	Saphores et al (2009)	Temur, Balciare e Bolat (2014)	Xavier et al (2012)			Rodrigues (2016) Capítulo 2	Rodrigues, Werner e Ribeiro (2016) - Capítulo 3	Rodrigues, Werner e Barcellos (2016) - Capítulo 4	Rodrigues (2016) Capítulo 5					
Consumidores	1	Idade dos consumidores													x					2	(17,5)				
	2	Classe social dos consumidores														x				3	(13)				
	3	Nível de Educação dos consumidores															x			2	(17,5)				
	4	Conhecimento da Legislação pelo Consumidor														x				2	(17,5)				
	5	Informações adequadas aos consumidores															x	x	x	4	(10)				
	6	Razões para descarte dos equipamentos				x	x										x			4	(10)				
	7	Ação do consumidor após o uso					x	x									x		x	6	(3,5)				
Produtos e Produção	8	Estimativa de vida útil do equipamento	x	x	x	x	x	x	x	x	x									10	(1)				
	9	Porte dos equipamentos	x	x	x		x										x			6	(3,5)				
	10	Número de equipamentos vendidos	x	x	x	x			x								x			7	(2)				
	11	Número de equipamentos importados	x	x					x									x		5	(6,5)				
	12	Preocupação com o processo produtivo																x	x	x	3	(13)			
Legislação	13	Preocupação com design dos EEE							x										x	4	(10)				
	14	Existência de programas de governo para REEE							x									x		5	(6,5)				
	15	Equipamentos são patrimônio de órgãos públicos (necessidade de leilão)																x		2	(17,5)				
	16	Existência de um acordo setorial																	x	x	x	3	(13)		
Destinação de REEE	17	Incentivos para empresas de reciclagem/gerenciadoras de REEE na região																	x	x	2	(17,5)			
	18	Disponibilização de pontos de coleta de REEE																		x	x	x	5	(6,5)	
	19	Distância dos pontos de coleta de REEE																			x		2	(17,5)	
	20	Distância dos pontos de tratamento do REEE																					1	(21)	
	21	Existência de empresas de reciclagem ou gerenciadoras de REEE na região																					x	x	5

Para definir quais especialistas contatar definiu-se que seriam necessários pelo menos dois especialistas e era desejado que um deles atuasse no setor acadêmico e outro não. Para seleção dos especialistas do setor acadêmico buscou-se pesquisadores com atuação específica na área de REEE e logística reversa, com titulação de doutor. O critério para definir os especialistas não acadêmicos foi buscar profissionais que atuassem em empresas gerenciadoras de REEE ou em órgãos públicos ligados ao Meio Ambiente. Foram contatados 15 profissionais no final de 2015, sendo que 7 destes com atuação exclusiva no setor acadêmico. Três especialistas responderam o questionário, sendo um professor de instituição pública federal, um representante do governo e um especialista com atuação nos dois setores.

Na terceira etapa do AHP, o cálculo da prioridade de cada alternativa em relação ao foco principal, as respostas obtidas nos questionários foram transcritas para as matrizes correspondentes para cada um dos especialistas, identificados como E1, E2 e E3. Cada especialista gerou 5 matrizes, conforme grupos de fatores/variáveis apresentados no questionário: (i) Consumidores; (ii) Produtos e Produção de Equipamentos Eletroeletrônicos (EEE); (iii) Legislação; (iv) Destinação dos REEE; (v) Geral. Um exemplo da matriz gerada pelas respostas de um dos especialistas é mostrado na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Exemplo de matriz gerada com respostas de um dos especialistas

MATRIZ LEGISLAÇÃO		VARIÁVEIS				
		14	15	16	17	
VARIÁVEIS	14	Existência de programas de governo para REEE	1	3	1/9	1/7
	15	Equipamentos são patrimônio de órgãos públicos (necessidade de leilão)	1/3	1	1/9	1/9
	16	Existência de um acordo setorial	9	9	1	1
	17	Incentivos para empresas de reciclagem/gerenciadoras de REEE na região	7	9	1	1

Na sequência foi calculada a matriz normalizada de cada matriz original e calculado o peso relativo da variável, seguindo os passos descritos no método deste artigo. A Tabela 6.5 apresenta os resultados da matriz normalizada obtidos para a matriz da Tabela 6.4.

Tabela 6.5 – Exemplo de matriz normalizada

MATRIZ NORMALIZADA		VARIÁVEIS				PESO RELATIVO	
		14	15	16	17		
VARIÁVEIS	14	Existência de programas de governo para REEE	0,058	0,136	0,050	0,063	0,077
	15	Equipamentos são patrimônio de órgãos públicos (necessidade de leilão)	0,019	0,045	0,050	0,049	0,041
	16	Existência de um acordo setorial	0,519	0,409	0,450	0,444	0,455
	17	Incentivos para empresas de reciclagem/gerenciadoras de REEE na região	0,404	0,409	0,450	0,444	0,427

Para obtenção do peso absoluto médio de cada variável do nível 3 do AHP foi realizada a média aritmética do peso relativo atribuído por cada especialista. Na sequência este valor foi multiplicado pelo peso médio absoluto do fator correspondente do nível 2. A tabela 6.6 apresenta estes cálculos.

Tabela 6.6 – Pesos relativos segundo especialistas e Peso ponderado

	NÍVEL 2				Nº fator	Fatores / variáveis	NÍVEL 3				Peso ponderado
	E1	E2	E3	Peso médio			E1	E2	E3	Peso médio	
Consumidores	0,085	0,043	0,136	0,088	1	Idade dos consumidores	0,023	0,023	0,048	0,031	0,003
					2	Classe social dos consumidores	0,073	0,220	0,061	0,118	0,010
					3	Nível de Educação dos consumidores	0,146	0,105	0,153	0,135	0,012
					4	Conhecimento da Legislação pelo Consumidor	0,059	0,117	0,081	0,086	0,008
					5	Informações adequadas aos consumidores	0,118	0,241	0,160	0,173	0,015
					6	Razões para descarte dos equipamentos	0,251	0,217	0,257	0,242	0,021
					7	Ação do consumidor após o uso	0,329	0,077	0,240	0,215	0,019
Produtos e Produção	0,502	0,427	0,159	0,363	8	Estimativa de vida útil do equipamento	0,406	0,406	0,380	0,398	0,144
					9	Porte dos equipamentos	0,119	0,040	0,144	0,101	0,037
					10	Número de equipamentos vendidos	0,273	0,318	0,207	0,266	0,096
					11	Número de equipamentos importados	0,134	0,039	0,071	0,081	0,030
					12	Preocupação com o processo produtivo	0,034	0,071	0,121	0,075	0,027
					13	Preocupação com design dos EEE	0,034	0,125	0,077	0,079	0,029
Legislação	0,213	0,108	0,476	0,266	14	Existência de programas de governo para REEE	0,114	0,077	0,300	0,164	0,043
					15	Equipamentos são patrimônio de órgãos públicos (necessidade de leilão)	0,045	0,041	0,100	0,062	0,016
					16	Existência de um acordo setorial	0,535	0,455	0,300	0,430	0,114
					17	Incentivos para empresas de reciclagem/gerenciadoras de REEE na	0,306	0,427	0,300	0,344	0,091
Destinação de REEE	0,200	0,422	0,230	0,284	18	Disponibilização de pontos de coleta de REEE	0,550	0,450	0,406	0,469	0,133
					19	Distância dos pontos de coleta de REEE	0,275	0,204	0,208	0,229	0,065
					20	Distância dos pontos de tratamento do REEE	0,071	0,036	0,098	0,068	0,019
					21	Existência de empresas de reciclagem ou gerenciadoras de REEE na região	0,104	0,310	0,288	0,234	0,066

Conforme Saaty e Vargas (2012) o passo seguinte do método AHP é analisar a consistência das respostas. Os autores afirmam que estes não devem ultrapassar 0,10 para que

as respostas sejam consideradas consistentes. A tabela 6.7 apresenta os valores encontrados para cada matriz, por especialista.

Tabela 6.7 – Valores da Razão de Consistência (RC) por matriz e especialista

Matrizes	E1	E2	E3
Consumidores	0,113	0,107	0,103
Produtos e Produção de EEE	0,102	0,108	0,098
Legislação	0,101	0,049	0,000
Destinação dos REEE	0,097	0,111	0,046
Geral	0,083	0,107	0,098

A matriz de consumidores apresentaram valores de $RC > 0,10$ para todos os especialistas. Entretanto, estas respostas foram aceitas por se tratar de uma matriz com 21 comparações paritárias, o que deve ter contribuído para as leves inconsistências apresentadas.

Da mesma forma, a matriz de Produtos e Produção de EEE também apresentou valores maiores que o definido por Saaty e Vargas (2012) para dois especialistas e os valores foram aceitos, já que dependeram de 14 avaliações paritárias. Mas neste caso, como RC das respostas de um dos especialistas no primeiro preenchimento do questionário apresentou valores de $RC > 0,15$, foi solicitado que este reavaliasse todas as comparações desta matriz. Com as novas respostas obteve-se o RC mostrado na Tabela 6.7.

As matrizes Legislação, Destinação dos REEE e Geral originaram-se de 6 comparações paritárias cada uma, o que deveria tornar a consistência nas respostas mais simples e acessíveis. Todavia, devido ao alto valor de RC no primeiro preenchimento do questionário, também foi solicitado a um dos especialistas que reavaliasse as comparações da matriz Destinação dos REEE, resultando no valor apresentado na Tabela 6.7.

Considerando que os valores de RC da Tabela 6.7 não se distanciaram exageradamente de 0,10 e que algumas matrizes exigiam muitas comparações paritárias - o que dificulta a análise - os dados foram aceitos para cálculo da Importância dos fatores.

Para selecionar as variáveis (fatores) que irão fazer parte do modelo de previsão de demanda dos REEE foi construído um diagrama de Pareto - representação gráfica de dados que objetiva identificar aspectos prioritários de uma situação, concentrando esforços em poucas causas (20%) que apresentem uma grande contribuição (80%), conhecido como princípio de 80/20 de Pareto. Para construção do diagrama foram utilizados o nº do fator e o seu peso ponderado da Tabela 6.6 e este gráfico está apresentado na figura 6.6. Percebe-se

que a importância acumulada de 7 variáveis (ou 33% do total de fatores), representa 71,1% dos pesos ponderados, numa proporção que se aproxima dos 80/20 do princípio de Pareto.

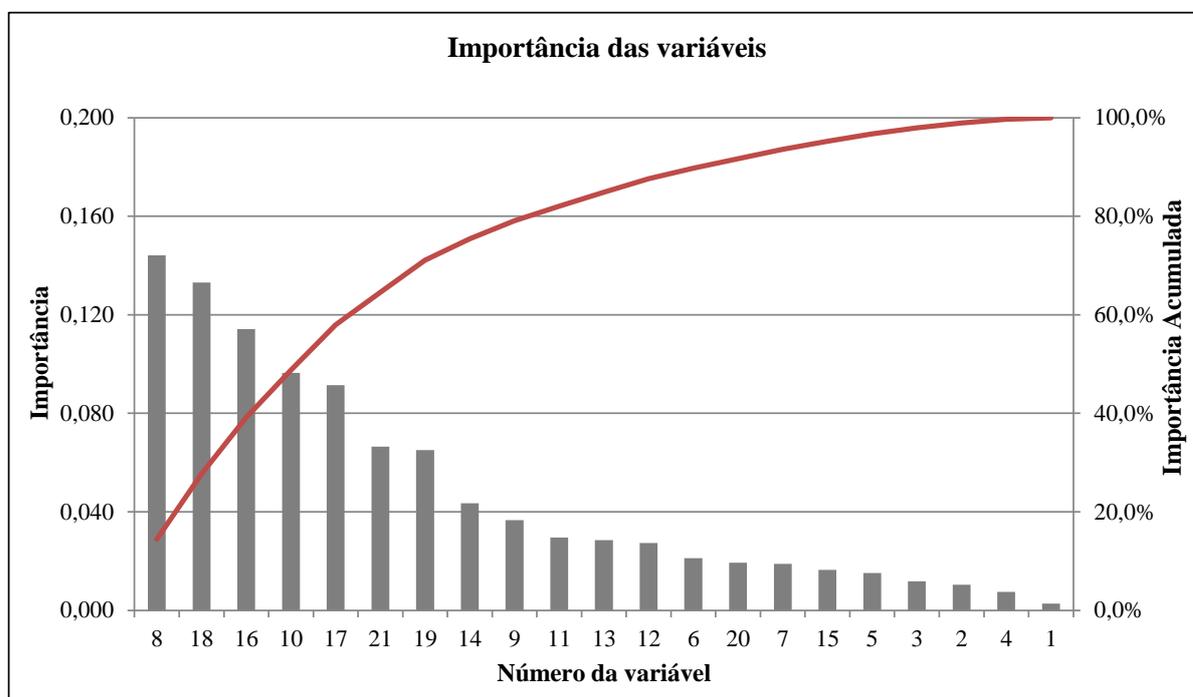


Figura 6.6– Diagrama de Pareto

A Tabela 6.8 apresenta as variáveis classificadas conforme seu peso ponderado (importância). Ressalta-se que dentre os fatores relacionados aos consumidores (1 ao 7) nenhuma variável foi selecionada entre as mais importantes, sendo que a que apresentou maior peso ponderado encontra-se na 13ª posição. Foram considerados mais importantes pelos especialistas duas variáveis que relacionam-se com os produtos e produção de EEE e com a destinação dos REEE, respectivamente: estimativa de vida útil (8) e disponibilização de pontos de coleta(18).

A existência do acordo setorial (16) e de incentivos para empresas especializadas na gestão e tratamento dos REEE (17), que faziam parte dos fatores ligados à legislação, foram classificados em 3º e 5º lugares. O número de equipamentos vendidos (10), 4º lugar na classificação, é um dos fatores relacionados com Produto e Produção de EEE. Além disso, foram selecionados mais 2 variáveis relativas à destinação dos REEE: existência de empresas de reciclagem/gerenciadoras de REEE na região (21) e distância dos pontos de coleta dos REEE (19).

Tabela 6.8– Fatores classificados em ordem decrescente de importância

Classificação	Nº fator	Fatores / variáveis	Peso ponderado	Peso acumulado
1º	8	Estimativa de vida útil do equipamento	0,144	14,4%
2º	18	Disponibilização de pontos de coleta de REEE	0,133	27,7%
3º	16	Existência de um acordo setorial	0,114	39,2%
4º	10	Número de equipamentos vendidos	0,096	48,8%
5º	17	Incentivos para empresas de reciclagem/gerenciadoras de REEE na região	0,091	57,9%
6º	21	Existência de empresas de reciclagem ou gerenciadoras de REEE na região	0,066	64,6%
7º	19	Distância dos pontos de coleta de REEE	0,065	71,1%
8º	14	Existência de programas de governo para REEE	0,043	0,754
9º	9	Porte dos equipamentos	0,037	0,791
10º	11	Número de equipamentos importados	0,030	0,821
11º	13	Preocupação com design dos EEE	0,029	0,849
12º	12	Preocupação com o processo produtivo	0,027	0,876
13º	6	Razões para descarte dos equipamentos	0,021	0,898
14º	20	Distância dos pontos de tratamento do REEE	0,019	0,917
15º	7	Ação do consumidor após o uso	0,019	0,936
16º	15	Equipamentos são patrimônio de órgãos públicos (necessidade de leilão)	0,016	0,952
17º	5	Informações adequadas aos consumidores	0,015	0,968
18º	3	Nível de Educação dos consumidores	0,012	0,979
19º	2	Classe social dos consumidores	0,010	0,990
20º	4	Conhecimento da Legislação pelo Consumidor	0,008	0,997
21º	1	Idade dos consumidores	0,003	1,000

A comparação entre a classificação obtida pelo método AHP (tabela 6.8) e a classificação das variáveis pela literatura (quadro 6.1) é apresentada na tabela 6.9, onde foram destacadas as 7 variáveis priorizadas pelo AHP e as variáveis que apresentaram classificação semelhante nas duas análises. Nota-se que a variável classificada em 1º lugar nas duas formas de classificação foi a estimativa de vida útil do equipamento, ressaltando sua importância para realização de futuras previsões de demanda para os REEE. Dentre os 7 primeiros classificados pelo método AHP, os fatores 8, 10, 18 e 21 também foram classificados entre os primeiros fatores pela literatura, o que não ocorreu com os fatores 16, 17 e 19. É importante destacar

que os fatores 3, 12, 13 e 15 não foram priorizados pelo AHP, mas apresentaram classificação similar na opinião dos especialistas e na literatura consultada.

Tabela 6.9– Comparação da classificação das variáveis

Nº fator	Fatores / variáveis	Classificação AHP	Classificação Literatura
8	Estimativa de vida útil do equipamento	1	1
18	Disponibilização de pontos de coleta de REEE	2	6,5
16	Existência de um acordo setorial	3	13
10	Número de equipamentos vendidos	4	2
17	Incentivos para empresas de reciclagem/gerenciadoras de REEE na região	5	17,5
21	Existência de empresas de reciclagem ou gerenciadoras de REEE na região	6	6,5
19	Distância dos pontos de coleta de REEE	7	17,5
14	Existência de programas de governo para REEE	8	6,5
9	Porte dos equipamentos	9	3,5
11	Número de equipamentos importados	10	6,5
13	Preocupação com design dos EEE	11	10
12	Preocupação com o processo produtivo	12	13
6	Razões para descarte dos equipamentos	13	10
20	Distância dos pontos de tratamento do REEE	14	21
7	Ação do consumidor após o uso	15	3,5
15	Equipamentos são patrimônio de órgãos públicos	16	17,5
5	Informações adequadas aos consumidores	17	10
3	Nível de Educação dos consumidores	18	17,5
2	Classe social dos consumidores	19	13
4	Conhecimento da Legislação pelo Consumidor	20	17,5
1	Idade dos consumidores	21	17,5

Para avaliar a concordância entre as duas formas de classificação utilizou-se o coeficiente de correlação τ de Kendall, calculado com o software SPSS (versão 18). O valor obtido para este coeficiente foi de 0,409 com significância de 0,05, o que mostra que há concordância fraca entre as duas classificações e corrobora os resultados citados anteriormente.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos no Brasil ainda é um tema incipiente, pois a legislação federal é recente e, na prática, a logística reversa depende de várias ações para que seja implementada. A previsão de demanda é uma ferramenta que pode auxiliar no dimensionamento do sistema de logística reversa para os EEE, permitindo conhecer a quantidade de REEE gerada em determinada região e período de tempo.

Uma das etapas iniciais de um sistema de previsão de demanda é a identificação das variáveis que serão consideradas no modelo. O resultado deste trabalho mostrou que a estimativa de vida útil dos EEE é a variável mais importante para esta previsão. Em tese, se o produto tem maior durabilidade, ele levará mais tempo para ser descartado e tornar-se resíduo. Outros fatores influenciam a descartabilidade dos produtos, como novas tecnologias, poder econômico da população e tipo de equipamento (GUTIÉRREZ *et al.*, 2010). Há escassez de dados detalhados sobre a vida útil dos equipamentos no Brasil, sendo necessário adaptar os dados dos países em desenvolvimento para a realidade brasileira.

A disponibilização de pontos de coleta para os REEE foi a segunda variável considerada mais importante pelos especialistas. A oferta de postos de entrega voluntária (PEV) de REEE, por parte dos governos municipais, fabricantes, comerciantes e/ou empresas gerenciadoras de REEE, tende a contribuir para o aumento do descarte dos equipamentos e sua posterior correta destinação.

A existência do acordo setorial é crítica para que o sistema de logística reversa dos REEE possa ser realidade. A PNRS não detalha a forma que este sistema operará, quais os custos envolvidos, quem é responsável por cada etapa, como serão tratados os produtos órfãos e como serão simplificadas as questões fiscais para transporte destes resíduos para os locais adequados de tratamento, dentre outras questões que estão sendo tratadas no acordo setorial. Enquanto esse acordo setorial não for aprovado e entrar em vigor, existirão somente ações isoladas de alguns fabricantes, prefeituras e gerenciadoras de REEE, o que não é suficiente para minimizar a destinação irregular de REEE.

A importância do conhecimento do número de equipamentos vendidos foi ressaltada na revisão sistemática realizada no capítulo 2 e o resultado obtido pela aplicação do método AHP com especialistas confirmou esta importância. Se a venda de EEE aumenta, espera-se que a quantidade de resíduos oriundos destes equipamentos também aumente no futuro.

Os incentivos e a existência de empresas gerenciadoras de REEE na região devem ser considerados na previsão de demanda, conforme especialistas. Estas empresas auxiliam na divulgação e execução de ações que ampliam a coleta de REEE na região. Sendo assim, torna-se importante incentivar a instalação e a manutenção de empresas deste tipo para que sejam gerados empregos formais, para que os resíduos tenham um destino ambientalmente correto e para que matérias primas recicladas possam retornar ao processo produtivo.

A questão da distância dos pontos de coleta também foi considerada importante, pois o deslocamento dos consumidores até estes pontos deve ser facilitado. A localização destes pontos de coleta em locais adequados, distribuídos conforme densidade populacional, com acesso facilitado e tendo a oportuna divulgação irá contribuir para a implantação do sistema de logística reversa dos REEE.

A ação dos consumidores após o uso dos EEE é destacada na literatura como um dos fatores importante para a logística reversa dos REEE, como citado no trabalho de Gutiérrez *et al.* (2010) que afirmam que as etapas essenciais da logística reversa dependem especialmente dos hábitos de descarte dos consumidores. Entretanto, na visão dos especialistas consultados, as variáveis que descrevem o consumidor e suas ações não foram consideradas importantes para a situação atual brasileira.

Esta seleção de variáveis pode ser utilizada para definição de um modelo de previsão de demanda para os REEE, em trabalhos futuros. Uma sugestão é utilizar análise de regressão linear múltipla, salienta-se que algumas variáveis selecionadas são variáveis qualitativas e podem ser alocadas como *dummy* (assumindo valores 1 ou 0), assinalando que determinada condição é ou não satisfeita.

Outro método que pode ser avaliado é o uso da Modelagem de Equações Estruturais (SEM), que pode lidar com múltiplas relações entre variáveis simultaneamente, uma vez que as variáveis selecionadas podem apresentar interdependências (HAIR *et al.*, 2005).

REFERÊNCIAS

ABDI. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos - Análise de Viabilidade Técnica e Econômica.** Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1362058667.pdf>. Acesso em: 28 mai 2015.

ABRAHAM, B. & LEDOLTER, J. **Statistical Methods for Forecasting.** Wiley-Interscience, 2013.

ARAUJO, M.G.; MAGRINI, A.; MAHLER, C.F.; BILITEWSKI, B. A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil. **Waste Management**, v. 32, p. 335–342, 2012.

ARMSTRONG, J. S. **Principles of forecasting: a handbook for researchers and practitioners**. Norwel,, MA: Kluwer Academic Publishers, 2001.

BADENHORST, A. A framework for prioritising practices to overcome cost-related problems in reverse logistics. **Journal of Transport and Suply Chain Management (JTSCM)**. v 7, n 1, 2013. ISSN: 2310-8789 (print) e 1995-5235 (online)

BALLOU, R.H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. 1ª ed. São Paulo: Atlas, 2007.

BRASIL. Lei 12.305. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2010.

BRITO, M. P.; DEKKER, R. **A Framework for Reverse Logistics**. Erim Report Series Research in Management Ers-2003-045-LIS. Erasmus University Rotterdam. The Netherlands. April 2003

DWIVEDY M.; MITTAL R. K. Estimation of future outflows of e-waste in India. **Waste Management**, v. 30, p. 483–491, 2010.

FLEISCHMANN, M. **Quantitative Models for Reverse Logistics**. Tese de Doutorado. Erasmus University Rotterdam. Holanda. 2000.

FRANCO, R. G. F.; LANGE, L. C. Estimativa de fluxo dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. **Eng Sanit Ambiental**, v. 16. n.1, p. 73-82, jan/mar 2011.

GUTIERREZ, E.; ADENSO-DIAZ, B.; LOZANO, S.; GONZALEZ-TORRE, P. A competing risks approach for time estimation of household WEEE disposal. **Waste Management**. n. 30. p. 1643–1652, 2010.

HABUER; NAKATANI, J.; MORIGUCHI, Y. Time-series product and substance flow analyses of end-of-life electrical and electronic equipment in China. **Waste Management**, v. 34, p. 489–497, 2014.

HAIR JR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise Multivariada de Dados**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HUISMAN, J.; *et al.* **2008 Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)**. Bonn: United Nations University, 2007.

KANG H.Y.; SCHOENUNG J.M. Estimation of future outflows and infrastructure needed to recycle personal computer systems in California. **Journal of Hazardous Materials**, v. B137, p. 1165–1174, 2006.

KAUARK, F.; MANHÃES, F. C; MEDEIROS, C.H. **Metodologia da pesquisa: guia prático**. Itabuna: Via Litterarum, 2010.

KRAJEWSKI, L.; RITZMAN. L.; MALHOTRA, M. **Administração de Produção e Operações**. 8ª ed. São Paulo: Pearson, 2009.

LACERDA, L. **Logística Reversa: uma visão sobre conceitos básicos e práticas operacionais**. Disponível em: <http://www.sargas.com.br/site/artigos_pdf/artigo_logistica_reversa_leonardo_lacerda.pdf>. Acesso em: 21 jan 2013.

LEITE, P.R. **Logística Reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de Marketing: foco na decisão**. 3ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

MATTAR, Fauze Najib. **Pesquisa de Marketing**. Edição Compacta. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

MORETTIN, P.A.; TOLOI, C.M. **Análise de Séries Temporais**. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 2004.

NNOROM, I.C.; OSIBANJO, O. Overview of electronic waste (e-waste) management practices and legislations, and their poor application in the developing countries. **Resources, Conservation & Recycling**, n. 52, p. 843-858, 2008.

OSIBANJO, O; NNOROM, I.C.; OGBONNA, K.C. Modelling waste generation by the telecom sector in Nigeria: the grey side of the impressive outing. **Waste Management & Research**, v. 26, n. 317, 2008.

PARLAMENTO EUROPEU. **Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)** Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32012L0019>>. Acesso em: 18 out 2015.

RAHMANIA, M.; NABIZADEHB, R.; YAGHMAEIANA, K.; MAHVIA, A. H.; YUNESIANB, M. Estimation of waste from computers and mobile phones in Iran. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 87, p. 21–29, 2014.

RENDER, B.; STAIR, R.; HANNA, M.E. **Análise Quantitativa para Administração**. 10 ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. **Going backwards: reverse logistics trends and practices**. Reno: Universidade de Nevada, 1999

SANTOS, C.A.F. dos. **A gestão de resíduos eletroeletrônicos e suas consequências para a sustentabilidade: um estudo de múltiplos casos na região metropolitana de Porto Alegre**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Administração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012

TEMUR, G. I. T.; BALCILAR, M.; BOLAT, B. A fuzzy expert system design for forecasting return quantity in reverse logistics network. **Journal of Enterprise Information Management**, v. 27, n. 3, p. 316 – 328. 2014.

XAVIER, L.H.; SANTOS, M.C.L.; FRADE, N.B.; CARVALHO, T.C.M.B. **Aspectos socioambientais e técnicos da gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos**. São Paulo: IEE-USP: CEDIR, 2012.

YANG, Y.; WILLIAMS, E. Logistic model-based forecast of sales and generation of obsolete computers in the USA. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 76, p. 1105–1114. 2009.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 PANORAMA DOS REEE

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2016), 20,8% dos municípios brasileiros têm coleta seletiva, mas somente 1,8% dos resíduos coletados são de fato reciclados e que 41% dos resíduos sólidos têm destinação final inadequada. Já os equipamentos eletroeletrônicos (EEE) estão cada vez mais presentes na vida das pessoas, pois conforme ELETROS (2015), a maioria dos domicílios brasileiros possui televisores (97,16%), refrigeradores (97,21%) e máquinas de lavar roupa (57,46%), indicando uma crescente geração de resíduos EEE.

É neste cenário que a logística reversa para os produtos eletroeletrônicos e seus componentes, exigência da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), precisa ser implantada e a questão dos Resíduos dos Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) precisa ser compreendida, considerando as perspectivas legal, ambiental, social e econômica. Este entendimento influencia na definição de um modelo de previsão de demanda, mais especificamente, na seleção de variáveis que irão compor este.

Em relação à perspectiva legal, a promulgação da Política Nacional de RS em 2010 tornou-se um marco regulamentar por definir princípios, objetivos e diretrizes relacionadas aos resíduos sólidos no Brasil. Um dos princípios da PNRS é a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, que envolve desde o produtor até o consumidor, passando pelos serviços públicos, para que se minimize o volume de resíduos sólidos gerados e se reduzam os impactos ao meio ambiente e à saúde humana.

Especificamente para os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), a PNRS torna obrigatória a implantação de sistemas de logística reversa e designa esta responsabilidade para os fabricantes, distribuidores, importadores e comerciantes. O encadeamento das atribuições é descritos no artigo 33 da política: (i) os consumidores devem efetuar a devolução após o uso aos comerciantes ou distribuidores; (ii) Os comerciantes e distribuidores devem efetuar a devolução aos fabricantes e importadores; e (iii) Os fabricantes e os importadores devem destinar os resíduos e rejeitos de forma adequada (BRASIL, 2010). Entretanto, a PNRS não estabelece prazos e metas para que esta logística reversa seja implantada, sua operacionalização ocorre mediante acordos setoriais, regulamentos expedidos

pelo poder público ou termo de compromisso (BRASIL, 2016). No artigo 2 (capítulo 3) foram determinados os papéis de cada *stakeholder* na atendimento da PNRS para os REEE, conforme quadro 7.1.

Quadro 7.1 – Responsabilidades dos *stakeholders*

Governo	Fabricantes de EEE	Gerenciador de REEE	Consumidores
Educação da população	Participar dos acordos setoriais	Trabalhar em conjunto com governo e fabricantes	Efetuar o correto descarte
Participar dos acordos setoriais	Cumprir a lei	Profissionalizar o setor	
Fiscalização	Rever o processo produtivo	Obter licenciamentos adequados ao serviço prestado	Consumo racional
Incentivos	Implementar a logística reversa		

A viabilidade técnica e econômica da logística reversa para produtos eletroeletrônicos e seus componentes foi aprovada em dezembro de 2012. Em 2014 o Ministério do Meio Ambiente (MMA) estruturou uma proposta para o acordo setorial e desde então se espera a sua apreciação bem como a minuta de acordo setorial que será colocada em consulta pública. O acordo setorial será assinado após a análise das contribuições realizadas na consulta pública e analisadas pelo MMA (CIDADE BEM TRATADA, 2016a).

Há questões levantadas pela ABINEE que precisam ser analisadas e resolvidas para que este acordo torne-se realidade (CIDADE BEM TRATADA, 2016b). Um dos pleitos é a simplificação fiscal para o transporte dos REEE, o que é justificado pela necessidade de transportar os resíduos por rotas interestaduais para chegar ao local adequado de tratamento, uma vez que grande parte das empresas recicladoras localiza-se na região sudeste do país.

Outra demanda da ABINEE é o reconhecimento da não periculosidade dos produtos descartados durante as fases de coleta, triagem e transporte, alegando que o equipamento não é considerado perigoso enquanto está em poder do consumidor e que este se tornaria perigoso a partir do início de sua desmontagem. Esta questão impacta diretamente nos custos da logística reversa, pois o transporte de produtos perigosos tem legislação particular e exige o uso de empresas especializadas. É preciso avaliar com cautela esta questão da periculosidade, pois há cuidados que precisam ser tomados para manusear estes REEE sem que sejam danificados e possam liberar algum produto tóxico.

As responsabilidades e dificuldades para implantar a PNRS para os REEE foi objeto de estudo do segundo artigo desta tese (capítulo 3). Observando os resultados apresentados, embora a coleta de dados tenha sido realizada em 2012, nota-se que os consumidores entrevistados esperam que as outras partes resolvam todas as questões, pois equivocadamente julgam que seria do governo a responsabilidade de coletar e destinar o REEE já que cobra taxa para recolhimento de lixo domiciliar. O que cabe ao governo é promover a educação ambiental nas escolas, conscientizando o cidadão de seus deveres para conservação do meio ambiente, o que pode levar muito tempo para dar resultados, mas é preciso semear esta mudança cultural para o futuro.

O artigo 2 (capítulo 3) também ressalta o papel do governo de fiscalizador, porém foi demonstrado descontentamento com o poder público por parte de alguns entrevistados, por este não combater com mais eficiência a entrada de EEE ilegalmente no país e por não conseguir impedir a operação de empresas sem licenciamento ambiental.

Os riscos e as oportunidades envolvidos na questão dos REEE, do ponto de vista ambiental, foram tratados no artigo 3 (capítulo 4). Menores ciclo de vida e antecipação de obsolescência tecnológica dos produtos geram aumento do volume de resíduos, ampliando a poluição e causando riscos ao meio ambiente e à saúde humana. O consumo consciente seria a forma ideal de lidar com este problema, mas o que se observa é um aumento nas vendas de produtos eletroeletrônicos ao longo dos anos e a ligação cada vez mais forte entre as pessoas e estes equipamentos, que são símbolo de modernidade e *status* social.

A disposição dos REEE em locais inadequados é resultado escassez de informações sobre este descarte para os consumidores, dos poucos pontos de coleta disponíveis e da falta de hábito da população em levar seus resíduos aos pontos de coleta existentes. No artigo 4 (capítulo 5) observa-se que a maioria das 19 indústrias de EEE localizadas no Rio Grande do Sul não costumam disponibilizar informações sobre descarte e cuidados no armazenamento e transporte dos EEE ou estas informações são insuficientes. Após a implantação de logística reversa para os REEE espera-se que, gradualmente, o número de pontos de coleta seja ampliado. Seria interessante que houvesse divulgação da logística reversa nos pontos de vendas, no momento que o consumidor adquire o produto, para que este saiba onde descartar o equipamento antigo, bem como divulgação dos pontos de coleta em locais públicos.

No artigo 2 (capítulo 3) a alteração da composição dos produtos e melhoria dos processos produtivos foi enfatizada como obrigação dos fabricantes de equipamentos eletroeletrônicos (EEE). No artigo 4 (capítulo 5) percebe-se que as indústrias de EEE participantes da pesquisa estão realizando melhorias em seus processos produtivos, através da redução do consumo de água e energia, bem como demonstrando preocupação com a destinação dos resíduos da produção.

Ainda na pesquisa do artigo 4 mostrou-se que não há esforços relevantes para substituir substâncias consideradas perigosas na composição dos produtos ou para desenvolver produtos com maior reciclabilidade. Conforme o estudo a justificativa para não alterar a composição dos produtos é o custo mais elevado do material substitutivo e não problemas tecnológicos, pelo menos para as empresas que exportam para a União Europeia e países que restringem metais pesados nos produtos eletroeletrônicos. Em relação à reciclabilidade dos produtos, muitas empresas brasileiras do setor elétrico e eletrônico são multinacionais e o desenvolvimento de novos produtos não é realizado nas unidades brasileiras. Entretanto, com a entrada em vigor da logística reversa para os REEE haverá necessidade de facilitar a desmontagem dos equipamentos e possibilitar a reciclagem e retorno das matérias primas ao setor produtivo.

Do ponto de vista social, o problema mais destacado neste estudo refere-se aos trabalhadores, suas condições de trabalho e sobrevivência. Entende-se por trabalhadores os que atuam em empresas legalmente constituídas, e que possuem vínculo formal de emprego, e os que atuam no mercado informal, conhecidos como catadores.

Na pesquisa realizada no artigo 3 (capítulo 4) percebe-se que nas empresas gerenciadoras de REEE consultadas os trabalhadores são devidamente registrados e possuem seus direitos trabalhistas reconhecidos, além das empresas disponibilizarem os equipamentos de proteção individual (EPI), treinamento e ambiente adequado para realização das tarefas. Infelizmente essa não é a realidade dos catadores, que apresentam baixa escolaridade e taxas de analfabetismo elevadas, têm baixos rendimentos e acesso limitado à Previdência Social, que poderia lhes garantir aposentadoria no futuro (IPEA, 2015). Além disso, a situação é agravada pela falta de segurança dos catadores, que não utilizam EPI's e desconhecem os riscos envolvidos no manuseio e transporte de EEE. A situação ideal seria limitar o acesso dos catadores aos REEE e que estes sejam coletados por empresas formalizadas ou entregues em postos específicos disponibilizados pelos fabricantes ou prefeituras.

Conforme visto no artigo 3 um dos objetivos da PNRS é promover a inclusão social e a valorização do trabalho das cooperativas de catadores e empresas de reciclagem. Espera-se que seja ampliado o mercado das empresas gerenciadoras de REEE com a implantação da logística reversa, pois haverá necessidade de comprovação das empresas de que estão dando a correta destinação a seus resíduos, o que resultará em mais empregos formais.

O aspecto econômico dos REEE foi abordado de forma transversal nesta tese, não sendo objeto de nenhum dos artigos diretamente, mas questões relacionadas a este aspecto surgiram ao longo do trabalho. No artigo 3 uma das dificuldades citadas para a implantação dos sistema de logística reversa é o custo, considerado alto pelo setor de eletroeletrônicos. A dificuldade da coleta dos resíduos em pequenas quantidades e pulverizada em várias localidades afeta diretamente os custos de transporte, bem como a maioria das empresas recicladoras estarem localizadas na região sudeste ou fora do país. Entretanto, as oportunidades de negócios devem ser ampliadas para empresas gerenciadoras de REEE e recicladoras.

A ABINEE sugere que o consumidor pague uma taxa para custear a logística reversa dos produtos eletroeletrônicos (CIDADE BEM TRATADA, 2016b), seguindo o modelo adotado na Califórnia (EUA) e da maioria das províncias do Canadá. Este é mais um ponto que precisa ser definido pelo acordo setorial.

É preciso avaliar a questão fiscal dos REEE para minimizar a incidência de impostos na cadeia de reciclagem. Segundo a ABDI (2015), os REEE são tratados como mercadorias e os impostos inclusos no transporte são os mesmos de um produto novo. A desoneração da cadeia é um dos pilares para o fortalecimento da indústria de reciclagem, que pode gerar novos empregos e atrair investimentos para o país.

O procedimento que será adotado para os produtos órfãos - aqueles que ingressam ilegalmente no país - é uma preocupação dos fabricantes de EEE e foi abordado no artigo 2 (capítulo 3), já que muitos destes produtos serão entregues nos postos de coleta e não se pode descartá-lo de forma incorreta. A questão maior é quem custeará a logística reversa destes produtos. Os fabricantes não querem e não devem arcar com este custo, pois já são prejudicados com a concorrência desleal de produtos que ingressam no Brasil sem pagamento de impostos.

Outro ponto importante é o indispensável incentivo, por parte do governo e da iniciativa privada, para pesquisa e desenvolvimento de tecnologias para reciclagem de REEE, visando o melhor aproveitamento das matérias primas e seu retorno aos processos produtivos com menores custos. O desenvolvimento de produtos menos agressivos ao meio ambiente é uma linha de pesquisa que também precisa de incentivos, para que os novos produtos utilizem matéria prima reciclada ou reaproveitada sempre que possível, para que os *designs* facilitem a desmontagem e reciclagem e para que os processos produtivos utilizem menos recursos naturais.

7.2 SELEÇÃO DE VARIÁVEIS PARA UM MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA

O acordo setorial definirá metas para a logística reversa dos REEE, que se referem à abrangência do sistema e à quantidade de resíduos coletada. O sistema precisará atender as maiores cidades do país no primeiro momento e que deverá se estender para as com menor população gradualmente ao longo dos anos. Deverão ser definidos critérios para localização e quantidade de pontos de coleta, como densidade populacional e número de equipamentos vendidos na região. Mas para estimar a quantidade de REEE que serão coletados em cada região e determinado período de tempo é preciso definir um modelo de previsão de demanda e conhecer as variáveis que são mais importantes para esta previsão.

O artigo 1 desta tese (capítulo 2), através de uma revisão sistemática, buscou informações sobre os modelos de previsão de demanda para os REEE adotados por outros autores e seus resultados foram relevantes para a seleção de variáveis do artigo 5 (capítulo 6). Nos resultados da revisão sistemática, a variável dependente mais utilizada foi o número de equipamentos que deixam de ser úteis e são descartados. As variáveis independentes mais utilizadas nos trabalhos avaliados no artigo 1 referiam-se às vendas ou produção dos EEE, à vida útil dos equipamentos e à ação do consumidor após o uso. Já os métodos mais utilizados para a previsão de demanda foram a Análise de Regressão e o MFA (*Material Flow Analysis*).

Com base nos artigos 1, 2, 3 e 4 (capítulos 2 a 5) e em revisão da literatura foram selecionadas 21 variáveis independentes que poderiam compor um modelo de previsão de demanda. Entretanto, este número de variáveis era elevado e precisava ser reduzido. Para determinar quais as variáveis eram mais importantes para modelar a previsão de demanda dos

REEE, considerando a realidade brasileira e a exigência do sistema de logística reversa, foi utilizada a metodologia AHP (*Analytic Hierarchic Process*), solicitando a três especialistas que realizassem comparações paritárias entre variáveis, indicando a mais importante e o grau desta importância. Como resultado, foram priorizadas sete variáveis, 33% do total de variáveis inicialmente listadas, que representaram mais de 70% da importância (peso ponderado) para o modelo de previsão de demanda, sendo estas variáveis: estimativa de vida útil do equipamento (1°); Disponibilização de pontos de coleta de REEE (2°); Existência de um acordo setorial (3°); Número de equipamentos vendidos (4°); Incentivos para empresas de reciclagem/gerenciadoras de REEE na região (5°); Existência de empresas de reciclagem ou gerenciadoras de REEE na região (6°); Distância dos pontos de coleta de REEE (7°).

Para prever a quantidade de REEE que serão descartados é essencial conhecer o tempo de vida útil de cada equipamento. Embora não se tenham muitos dados adaptados à realidade brasileira, a ABDI (2015) utilizou dados secundários para apresentar os valores utilizados para elaboração da viabilidade técnica e econômica da logística reversa para os EEE e que variam conforme linha do equipamento. Por exemplo, equipamentos da linha branca (geladeiras, fogões...) tem vida útil que varia entre 10 e 15 anos enquanto equipamentos da linha verde (computadores, celulares...) tem vida útil estimada entre 2 e 5 anos.

A existência de pontos de coleta na região é uma variável *dummy* relevante, pois a tendência é que quanto mais acessível for o descarte dos REEE para os consumidores, menos equipamentos sem uso ele armazenará em casa e menor seja o risco de descarte irregular. Da mesma forma, existindo o acordo setorial para os produtos eletroeletrônicos, haverá metas a ser cumpridas pelo sistema de logística reversa, influenciando na quantidade coletada de resíduos.

Os dados de vendas foram os mais utilizados nos modelos de previsão pesquisados no artigo 1 (capítulo 2) e este estudo também determinou que esta variável - número de equipamentos vendidos - deve ser utilizada para prever a quantidade de REEE. A existência de incentivos para empresas de reciclagem e gerenciadoras de REEE, bem como a existência deste tipo de empresas na região foram considerados relevantes para o modelo de previsão, porque estas empresas precisam de volumes de resíduos significativos para operar e terminam por impulsionar a coleta de REEE na região em que estão instaladas, estabelecendo parcerias com o poder público e setor privado.

A distância entre os pontos de coleta também pode afetar a quantidade de REEE entregues pelos consumidores, sendo necessário dimensionar esta quantidade de forma adequada para cada região, buscando identificar locais adequados e próximos aos consumidores.

7.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A sequência deste trabalho é a definição de um modelo de previsão de demanda considerando as variáveis selecionadas e obtendo dados para sua aplicação e validação. De acordo com a revisão sistemática do artigo 1 (capítulo 2), o método mais utilizado e que parece ser adequado é a Análise de Regressão Múltipla, que é uma técnica estatística para investigação e modelagem do relacionamento entre variáveis, segundo Montgomery e Peck (1982), e que pode ser definida através da equação 7.1.

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_4x_4 + \beta_5x_5 + \beta_6x_6 + \beta_7x_7 \quad \text{Equação 7.1}$$

As variáveis selecionadas nesta tese serão $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ e x_7 e $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ e β_7 são seus coeficientes e que precisam ser determinados no futuro. Definido o modelo de previsão de demanda, o próximo passo é aplicar este modelo para determinado produto ou linha de produto para sua validação.

Como a estimativa de vida útil dos EEE foi o fator mais importante, na opinião dos especialistas consultados, para determinar a quantidade de REEE no contexto da logística reversa, um trabalho que pode ser realizado é verificar métodos para obter dados sobre a vida útil dos produtos eletroeletrônicos atualizados e adequados ao Brasil.

O aspecto econômico do sistema de logística reversa dos REEE pode ser explorado em trabalhos futuros, visando aprofundar o conhecimento dos custos envolvidos neste. Uma sugestão é avaliar metodologias de cálculo de custo para implantação de logística reversa já utilizadas por outros autores, propondo um método adaptado para REEE e utilizando a Simulação de Monte Carlo como ferramenta.

REFERÊNCIAS

ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica**. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1362058667.pdf>. Acesso em: 28 mai 2015.

BRASIL. **Decreto nº 7.404**, de 23 de Dezembro de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em: 05 fev 2016.

_____. **Lei 12.305 - Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2010.

CIDADE BEM TRATADA. **Palestra de Ademir Brescansin - Gerente de Sustentabilidade - ABINEE**. Disponível em: <http://www.cidadebemtratada.com.br/wp-content/uploads/2015/05/cbt2015_19mai2015_16h15_ABINEE.pdf>. Acesso em: 12 fev 2016(b).

_____. **Palestra de Zilda Veloso - Diretora de Ambiente Urbano - Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www.cidadebemtratada.com.br/wp-content/uploads/2015/05/cbt2015_19mai2015_16h15_Zilda_Veloso.pdf>. Acesso em: 12 fev 2016(a).

ELETROS. **Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos**. Disponível em: <<http://www.eletros.org.br/portal.php/estatisticas>>. Acesso em 17 mai 2015.

IPEA. **Situação social dos catadores e catadoras de material reciclável e reutilizável – Região Sul**. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=19733>. Acesso em 17 mai 2015.

MMA. **Resíduos Sólidos**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/mma-em-numeros/residuos-solidos>>. Acesso em: 05 fev 2016.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to Linear Regression Analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1982.