



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**CARACTERIZAÇÃO E VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE
GABINETES DE MICROCOMPUTADORES DE MESA**

CLAUDIA ADRIANA KOHL

São Leopoldo, Dezembro de 2014.

CLAUDIA ADRIANA KOHL

**CARACTERIZAÇÃO E VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE
GABINETES DE MICROCOMPUTADORES DE MESA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Luciana Paulo Gomes

Banca examinadora: Prof. Dr. Aurélio Pessôa Picanço –
UFT (Universidade Federal do Tocantins)
Prof^ª. Dr^ª. Feliciane Andrade Brehm – UNISINOS

São Leopoldo, Dezembro de 2014.

K79c

Kohl, Claudia Adriana

Caracterização e valorização de resíduos de gabinetes de microcomputadores de mesa / Claudia Adriana Kohl. -- 2014.

165 f.: il.

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Leopoldo, RS, 2014.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Luciana Paulo Gomes.

1. Resíduo de microcomputadores. 2. Reciclagem de computadores. I. Título.

CDU 624.

TERMO DE APROVAÇÃO

“CARACTERIZAÇÃO E VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE GABINETES DE MICROCOMPUTADORES DE MESA”

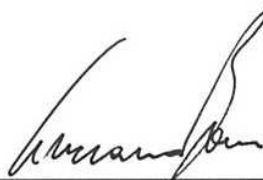
CLAUDIA ADRIANA KOHL

Esta Dissertação de Mestrado foi julgada e aprovada pela banca examinadora no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UNISINOS como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL.

Aprovada em 16 de dezembro de 2014

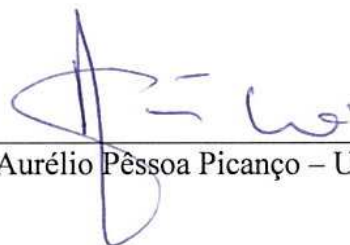


Prof.ª Dr.ª Luciana Paulo Gomes
Orientadora – UNISINOS



Prof.ª Dr.ª Luciana Paulo Gomes
Coordenadora do PPGEC/UNISINOS

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Aurélio Pessoa Picanço – UFT



Prof.ª Dr.ª Feliciane Brehm - UNISINOS

“A era da procrastinação, das meias medidas, dos expedientes que acalmam e confundem, a era dos adiamentos está chegando ao fim. No seu lugar, estamos entrando na era das consequências.”

Winston Churchill, 1936.

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente à minha querida e amada mãe Maria Eunice Kohl e aos meus amados marido e filho, Luis Adelaus de Lemos e Azrael Kohl de Lemos, por estarem sempre ao meu lado.

A minha querida orientadora, professora Dr^a. Luciana Paulo Gomes, o meu sincero agradecimento pela oportunidade dada ao me agraciar com essa pesquisa.

Aos órgãos de fomento à pesquisa, Ministério de Ciência e Tecnologia e Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo financiamento da pesquisa e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Ao professor Pós Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes pela atenção dirigida a mim sempre que solicitada e por estar sempre disposto a esclarecer minhas dúvidas.

Ao professor Dr. Miguel Afonso Selitto por sua indispensável e importante participação na minha Banca de Qualificação.

Aos funcionários da UNISINOS Clauber (TI ASAV), Susi Brand (SGA), Roque Schneider e Marcos Schuck (Eng. Mecânica) e à Simone Trisch (PPGEC) pela ajuda dispensada sempre que foi solicitada. Em especial à Aline Diehl e Agnes Mitz (Lab. Caracterização e Valorização de Materiais), por toda a ajuda dispensada nas análises efetuadas.

Ao Eng. Químico Marcos Aidos (Pró-Ambiente) e à Marcia Regina Ewald (pesquisadora do CTI), pelos esclarecimentos dados nas diversas consultas telefônicas efetuadas sobre laudos de periculosidade e interpretações de NBRs.

A Caroline Lobato, amiga, companheira e parceira nas conversas e desabafos, pelo apoio e compreensão nos diversos momentos vividos nessa jornada e também pelas muitas risadas dadas (muitas mesmo).

Aos colegas de laboratório Neuri Rempel, Alisson Schons, Bruna Barcelos, Jalir Torres, Marlucci Souza, Rafaela Gomes e Aimée Silva pelo companheirismo, conversas, troca de figurinhas e risadas dadas.

Ao Marcelo Siqueira meu professor de inglês que ficou comigo três anos e não desistiu, apesar de todas as minhas reclamações.

Ao Érico Scherer e André Senger (Descarte Certo), por abrirem as portas da empresa para me ajudar e dar esclarecimentos sobre reciclagem de resíduos eletrônicos.

A professora Dr^a. Feliciane Brehm (UNISINOS) e ao professor Dr. Aurélio Picanço (UFT) por participarem na minha Banca de Defesa. Agradeço também por todos os esclarecimentos dados os quais serviram para melhorar a minha pesquisa.

Enfim, a todos aqueles que participaram deste momento tão importante da minha vida.

Meus sinceros agradecimentos.

FONTES DE FINANCIAMENTO DA PESQUISA

Ministério da
Ciência e Tecnologia



Ministério da Ciência e Tecnologia



Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP



Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e
Tecnológico – CNPq

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	JUSTIFICATIVA	27
1.2	OBJETIVOS	28
1.2.1	<i>Objetivo geral.....</i>	28
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	28
1.3	ESTRUTURA DA PESQUISA	29
1.4	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	29
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
2.1	EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS (EEE)	31
2.1.1	<i>Computadores.....</i>	34
2.1.1.1	<i>Elementos/materiais/substâncias contidos em microcomputadores de mesa</i>	36
2.1.1.2	<i>Composição de gabinetes de microcomputadores de mesa</i>	41
2.2	RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS (REEE).....	43
2.2.1	<i>Resíduos de computadores</i>	45
2.3	ASPECTOS LEGAIS AMBIENTAIS E OS REEE	47
2.3.1	<i>Aspectos legais relevantes relacionadas aos REEE em nível internacional</i>	47
2.3.1.1	<i>Diretiva 2011/65/UE do Parlamento Europeu e do Conselho.....</i>	48
2.3.1.2	<i>Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho.....</i>	49
2.3.2	<i>Aspectos legais relacionados aos REEE em nível nacional</i>	51
2.3.2.1	<i>Política Nacional de Resíduos Sólidos</i>	52
2.3.3	<i>Normas ambientais sobre resíduos sólidos.....</i>	53
2.3.3.1	<i>Normas ambientais sobre REEE.....</i>	55
2.4	RECICLAGEM DE COMPUTADORES	56
2.4.1	<i>O ciclo de vida dos computadores.....</i>	57
2.4.2	<i>Cadeia de gestão de resíduos de computadores.....</i>	61
2.4.3	<i>Canais de reciclagem/destinação para resíduos de computadores.....</i>	67
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	73
3.1	DEFINIÇÃO DA AMOSTRA.....	73
3.2	METODOLOGIA PARA ATENDER AO OBJETIVO 1 – EFETUAR O BALANÇO DE MASSA DOS RESÍDUOS DE GABINETES DE MICROCOMPUTADORES DE MESA.....	73
3.3	METODOLOGIA PARA ATENDER AO OBJETIVO 2 – CALCULAR A POTENCIAL TAXA DE RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DE GABINETES DE MICROCOMPUTADORES DE MESA.....	81
3.4	METODOLOGIA PARA ATENDER AO OBJETIVO 3 – EFETUAR A CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS QUE COMPÕE OS RESÍDUOS DE GABINETES DE MICROCOMPUTADORES DE MESA.....	84
3.5	METODOLOGIA PARA ATENDER AO OBJETIVO 4 – CLASSIFICAR OS RESÍDUOS DOS GABINETES DE MICROCOMPUTADORES DE MESA CONFORME SUA PERICULOSIDADE.....	89
4	RESULTADOS.....	93
4.1	RESULTADOS DO OBJETIVO 1 – EFETUAR O BALANÇO DE MASSA DOS RESÍDUOS DE GABINETES DE MICROS DE MESA.....	93
4.1.1	<i>Balanço de massa dos componentes dos gabinetes</i>	93
4.1.1.1	<i>Balanço de massa dos drives de disquetes.....</i>	94
4.1.1.2	<i>Balanço de massa dos drives de CDs.....</i>	96
4.1.1.3	<i>Balanço de massa dos cabos IDEs.....</i>	97
4.1.1.4	<i>Balanço de massa dos HDs.....</i>	98
4.1.1.5	<i>Balanço de massa dos coolers</i>	100
4.1.1.6	<i>Balanço de massa das placas mãe.....</i>	101
4.1.1.7	<i>Balanço de massa das fontes de energia</i>	103
4.1.1.8	<i>Balanço de massa da tampa, corpo e outras partes</i>	105
4.1.2	<i>Balanço de massa total dos materiais dos gabinetes.....</i>	106
4.1.3	<i>Balanço de massa dos plásticos dos gabinetes por tipo de plástico.....</i>	107

4.2	RESULTADOS DO OBJETIVO 2 – CALCULAR A POTENCIAL TAXA DE RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DE GABINETES DE MICROS DE MESA	109
4.2.1	<i>Potencial taxa de reciclagem dos componentes e dos gabinetes</i>	<i>109</i>
4.2.2	<i>Potencial taxa de reciclagem dos materiais</i>	<i>110</i>
4.3	RESULTADOS DO OBJETIVO 3 – EFETUAR A CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS QUE COMPÕE OS RESÍDUOS DE GABINETES DE MICROCOMPUTADORES DE MESA	111
4.3.1	<i>Caracterização dos elementos químicos dos componentes.....</i>	<i>118</i>
4.3.1.1	<i>Caracterização dos elementos químicos dos drives de disquetes</i>	<i>118</i>
4.3.1.2	<i>Caracterização dos elementos químicos dos drives de CDs.....</i>	<i>119</i>
4.3.1.3	<i>Caracterização dos elementos químicos dos cabos IDE.....</i>	<i>120</i>
4.3.1.4	<i>Caracterização dos elementos químicos dos HDs</i>	<i>121</i>
4.3.1.5	<i>Caracterização dos elementos químicos dos coolers.....</i>	<i>122</i>
4.3.1.6	<i>Caracterização dos elementos químicos das placas mãe</i>	<i>123</i>
4.3.1.8	<i>Caracterização dos elementos químicos das fontes de energia.....</i>	<i>127</i>
4.3.1.9	<i>Caracterização dos elementos químicos das tampas, corpos e outras partes</i>	<i>129</i>
4.3.2	<i>Caracterização dos elementos químicos dos plásticos</i>	<i>131</i>
4.3.3	<i>Considerações sobre a caracterização dos elementos químicos</i>	<i>132</i>
4.4	RESULTADOS DO OBJETIVO 4 – CLASSIFICAR OS RESÍDUOS DOS GABINETES DE MICROS DE MESA CONFORME SUA PERICULOSIDADE	134
4.4.1	<i>Caracterização dos resíduos de gabinetes de micros de mesa segundo a NBR 10004:2004 Resíduos sólidos – Classificação.</i>	<i>134</i>
4.4.2	<i>Considerações sobre a NBR 10004:2004 x NBR 16156:2013.....</i>	<i>141</i>
5	CONCLUSÕES	145
	RECOMENDAÇÕES	151
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Venda de microcomputadores no Brasil nos anos de 2010 a 2013.	33
Tabela 2 – Quantidade de resíduos de microcomputadores gerada entre os anos de 2006 a 2008 (kg/hab.ano).	46
Tabela 3 – Objetivos mínimos de valorização de REEE estipulados pela Diretiva Europeia 2012/19/UE.	51
Tabela 4 – Taxas de reciclagem para 60 elementos da Tabela Periódica.	59
Tabela 5 – Estimativa da quantidade de materiais a serem reciclados contidos nos microcomputadores a serem descartados no Brasil em 2019 e no mundo em 2018.	60
Tabela 6 – Massa dos componentes dos gabinetes.	94
Tabela 7 – Massa dos materiais dos drives de disquetes.	95
Tabela 8 – Massa dos materiais dos drives de CDs.	96
Tabela 9 – Massa dos materiais dos cabos IDEs.	98
Tabela 10 – Massa dos materiais dos HDs.	99
Tabela 11 – Massa dos materiais dos coolers.	100
Tabela 12 – Massa dos materiais das placas mãe.	102
Tabela 13 – Massa dos materiais das fontes de energia.	103
Tabela 14 – Massa dos materiais das tampas, corpos e outras partes.	105
Tabela 15 – Massa dos gabinetes por tipo de material.	106
Tabela 16 – Massa dos plásticos dos gabinetes.	108
Tabela 17 – Massa dos plásticos dos gabinetes por tipo.	109
Tabela 18 – Potencial taxa de reciclagem dos componentes.	110
Tabela 19 – Potencial taxa de reciclagem dos gabinetes.	110
Tabela 20 – Potencial taxa de reciclagem dos materiais.	111
Tabela 21 – Símbolo e nome dos elementos químicos encontrados nos gabinetes.	113
Tabela 22 – Localização dos elementos químicos majoritários encontrados nos gabinetes. .	114
Tabela 23 – Componentes onde os elementos químicos críticos foram encontrados.	117
Tabela 24 – Elementos químicos encontrados nos drives de disquetes.	118
Tabela 25 – Elementos químicos encontrados nos drives de CDs.	119
Tabela 26 – Elementos químicos encontrados nos cabos IDE.	120
Tabela 27 – Elementos químicos encontrados nos HDs.	121
Tabela 28 – Elementos químicos encontrados nos coolers.	122
Tabela 29 – Elementos químicos encontrados nas placas mãe.	123
Tabela 30 – Elementos químicos encontrados nas placas mãe moídas.	127
Tabela 31 – Elementos químicos encontrados nas placas mãe moídas por granulometria. ...	127
Tabela 32 – Elementos químicos encontrados nas fontes de energia.	127
Tabela 33 – Elementos químicos encontrados nas tampas, corpos e outras partes.	130
Tabela 34 – Elementos químicos encontrados nos plásticos.	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem do IBM-PC 5150 de 1981.	34
Figura 2 – Estrutura de um microcomputador.	35
Figura 3 – Ciclo de vida de um microcomputador.	57
Figura 4 – Fluxograma da metodologia utilizada para atender ao Objetivo 1.	79
Figura 5 – Fluxograma da metodologia utilizada para atender ao Objetivo 2.	83
Figura 6 – Fluxograma da metodologia utilizada para atender ao Objetivo 3.	87
Figura 7 – Fluxograma da metodologia utilizada para atender ao Objetivo 4.	91
Figura 8 – Representatividade de cada componente no balanço de massa dos gabinetes.	94
Figura 9 – Representatividade de cada material na massa do drive de disquetes.	95
Figura 10 – Drive de disquetes montado. Medidas (LxCxA) 10,0 x 14,5 x 2,5 (cm). 1 – Vista de cima, 2 – Vista de baixo, 3 – Vista de frente.	95
Figura 11 – Segregação do drive de disquetes por tipo de material: 1 – Metais ferrosos, 2 – Plásticos, 3 – Materiais com substâncias de interesse, 4 – Metais não ferrosos, 5 – Outros materiais.	95
Figura 12 – Representatividade de cada material na massa do drive de CDs.	96
Figura 13 – 1 - Drive de CDs montado. Medidas (LxCxA) 14,5 x 19,5 x 4,5 (cm). 2 – Drive de CD semi desmontado.	97
Figura 14 – Segregação do drive de CDs por tipo de material: 1 – Plásticos, 2 – Metais ferrosos, 3 – Metais não ferrosos, 4 – Materiais com substâncias de interesse, 5 – Outros materiais.	97
Figura 15 – Representatividade de cada material na massa dos cabos IDEs.	98
Figura 16 – 1 - Cabos IDEs montados. Segregação dos cabos IDEs por tipo de material: 2 – Plásticos, 3 – Metais não ferrosos, 4 – Fios e cabos.	98
Figura 17 – Representatividade de cada material na massa dos HDs.	99
Figura 18 – HD montado. Medidas (LxCxA) 10,0 x 14,5 x 2,5 (cm). 1 – Vista de cima, 2 – Vista de baixo, 3 – HD aberto.	99
Figura 19 – Segregação do HD por tipo de material: 1 – Metais não ferrosos, 2 – Metais ferrosos, 3 – Plásticos, 4 – Materiais com substâncias de interesse, 5 – Outros materiais.	99
Figura 20 – Representatividade de cada material na massa dos coolers.	100
Figura 21 – 1 - Cooler montado. Medidas (LxCxA) 5,0 x 5,0 x 1,5 (cm). 2 – Cooler desmontado.	101
Figura 22 – Segregação do cooler por tipo de material. 1 – Plásticos, 2 – Metais não ferrosos, 3 – Metais ferrosos, 4 – Materiais com substâncias de interesse, 5 – Fios e cabos, 6 – Outros materiais.	101
Figura 23 – Representatividade de cada material na massa das placas mãe.	102
Figura 24 – 1 - Placa-mãe montada. Medidas (LxCxA) 24,5 x 23,5 x 6,5 (cm). 2 – Placa mãe semi-desmontada.	102
Figura 25 – Segregação da placa mãe por tipo de material. 1 – Plásticos, 2 – Metais não ferrosos, 3 – Metais ferrosos, 4 – Materiais considerados perigosos, 5 – Fios e cabos, 6 – Outros materiais, 7 – Materiais com substâncias de interesse.	103
Figura 26 – Representatividade de cada material na massa das fontes.	104
Figura 27 – 1 - Fonte montada. Medidas (LxCxA) 13,0 x 15,0 x 6,5 (cm). 2 – Fonte semi desmontada.	104
Figura 28 – Segregação fonte por tipo de material. 1 – Plásticos, 2 – Metais não ferrosos, 3 – Metais ferrosos, 4 – Fios e cabos, 5 – Outros materiais, 6 – Materiais com substâncias de interesse.	104

Figura 29 – Representatividade de cada material na massa da tampa, corpo e outros componentes.....	105
Figura 30 – Segregação do corpo, tampa e outros componentes por tipo de material. 1 – Metais não ferrosos, 2 – Plásticos, 3 – Metais ferrosos, 4 – Fios e cabos, 5 – Outros materiais.	106
Figura 31 – Representatividade de cada material na massa dos gabinetes.	107
Figura 32 – Representatividade dos plásticos nos gabinetes.	108
Figura 33 – Representatividade dos plásticos nos gabinetes por tipo de plástico.....	109
Figura 34 – Localização dos elementos químicos encontrados na Tabela Periódica.	112
Figura 35 – Elementos majoritários encontrados nas análises químicas dos gabinetes.....	114
Figura 36 – Elementos em menor quantidade encontrados nas análises químicas dos gabinetes.....	115
Figura 37 – Elementos traço encontrados nas análises químicas dos gabinetes.....	116
Figura 38 – Peças analisadas no drive de disquetes. 1 – Metais ferrosos, 2 – Metais não ferrosos.....	118
Figura 39 – Peças analisadas no drive de CDs. 1 – Metais ferrosos, 2 – Metais não ferrosos, 3 – Materiais com substâncias de interesse.....	120
Figura 40 – Peças analisadas nos cabos IDE. 1 – Metais não ferrosos, 2 – Fios e cabos.....	121
Figura 41 – Peças analisadas nos HDs. 1 – Metais não ferrosos, 2 – Metais ferrosos	122
Figura 42 – Peças analisadas nos coolers. 1 – Metal não ferroso, 2 – Fios e cabos.	123
Figura 43 – Peças analisadas nas placas mãe. 1 – Materiais com substâncias de interesse, 2 – Materiais considerados perigosos, 3 – Metais não ferrosos, 4 – Metais ferrosos.....	126
Figura 44 – Peças analisadas nas fontes de energia. 1 – Metais ferrosos, 2 – Metais não ferrosos, 3 – Fios e cabos, 4 – Materiais com substâncias de interesse.....	129
Figura 45 – Peças analisadas nos corpos, fontes e outras partes. 1 - Metais não ferroso, 2 – Metais ferrosos, 3 – Fios e cabos.	131

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Categorias de EEE abrangidos pela Diretiva Europeia 2012/19/UE.....	31
Quadro 2 – Principais componentes de um gabinete de microcomputador de mesa	42
Quadro 3 – Aspectos legais internacionais relacionadas com REEE.....	48
Quadro 4 – Métodos de valorização de REEE segundo a Diretiva Europeia 2008/98/EC	50
Quadro 5 – Legislações que tratam de resíduos perigosos e REEE no Brasil.....	53
Quadro 6 – Opções disponíveis para recuperação e reciclagem de metais e PCIs de REEE...	64
Quadro 7 – Opções disponíveis para destinação/reciclagem de plásticos de REEE.....	65
Quadro 8 – Estudos brasileiros sobre a recuperação de metais de REEE.	70
Quadro 9 – Canais de reciclagem/destinação para os materiais obtidos por meio do desmantelamento de microcomputadores.....	71

LISTA DE PLANILHAS

Planilha 1 – Controle de gabinetes de microcomputadores.....	74
Planilha 2 – Massa dos componentes dos gabinetes.	74
Planilha 3 – Massa dos materiais dos drives de disquetes.....	75
Planilha 4 – Massa dos materiais dos drives de CDs.	75
Planilha 5 – Massa dos materiais dos cabos IDEs.....	75
Planilha 6 – Massa dos materiais dos HDs.....	76
Planilha 7 – Massa dos materiais dos coolers.....	76
Planilha 8 – Massa dos materiais das placas mãe.....	76
Planilha 9 – Massa dos materiais das fontes de energia.	76
Planilha 10 – Massa dos materiais do gabinete (tampa, corpo e outras partes).	77
Planilha 11 – Massa dos gabinetes por tipo de material.....	77
Planilha 12 – Massa dos plásticos dos gabinetes.....	78
Planilha 13 – Massa dos plásticos dos gabinetes por tipo de plástico.....	78
Planilha 14 – Potencial taxa de reciclagem dos materiais.	82
Planilha 15 – Potencial taxa de reciclagem dos componentes.....	82
Planilha 16 – Potencial taxa de reciclagem dos gabinetes.....	82
Planilha 17 – Caracterização dos elementos químicos dos componentes.	85
Planilha 18 – Caracterização dos elementos químicos das placas mãe moídas.	85
Planilha 19 – Caracterização dos elementos químicos das placas mãe por granulometria.	86
Planilha 20 – Caracterização dos elementos químicos dos plásticos por tipo de plástico.....	86
Planilha 21 – Enquadramento dos elementos químicos conforme ABNT NBR 10004:2004..	89

LISTA DE ABREVIATURAS

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABS – Acrilonitrila butadieno estireno

ABS/PC – Acrilonitrila-butadieno-estireno/polycarbonato

ATX – *Advanced Technology Extended* / Tecnologia Avançada Estendida

CAS – *Chemical Abstract Substance* / Resumo de substâncias Químicas

CCME – *Canadian Council of Ministers of the Environment* / Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente

CD – *Compact Disc* / Disco Compacto

CE – Comunidade Europeia

EEC – Comunidade Econômica Europeia

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPU – *Central Processing Unit* / Unidade Central de Processamento

CRT – Tubo de Raios Catódicos

DNA – Ácido desoxirribonucleico

DOE – *U.S. Department of Energy* / Departamento de Energia dos Estados Unidos

EEE – Equipamento Elétrico e Eletrônico

EOL-RR – *End-of-Life Recycling Rate* / Taxas de Reciclagem de Fim de Vida

ERCC – *Electronics Recycling Coordination Clearinghouse* / Coordenação da Câmara de Reciclagem Eletrônica

EUA – Estados Unidos da América

eWASA – *e-Waste Association of South Africa* / Associação de Resíduo Eletrônico da África do Sul

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos

HD – *Hard Disk* / Disco Rígido

IARC – *Agency for Research on Cancer of the World Health Organization* / Agência de Investigação do Câncer da Organização Mundial da Saúde

IDC – *International Data Corporation* / Corporação Internacional de Dados

IEC – *International Electrotechnical Commission* / Comissão Eletrotécnica Internacional

MCC – *Microelectronics and Computer Technology Corporation* / Corporação Tecnológica de Microeletrônicos e Computadores

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NBR – Norma Brasileira

OECD – *Organisation for Economic Cooperation and Development* / Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento

PBB – Polibromobifenilo (bifenilas polibromadas)

PBDE – Éter de difenilo polibromado

PC – *Personal Computer* / Computador Pessoal

PCB – Bifenila policlorada

PCI – Placa de circuito impresso

PIB – Produto Interno Bruto

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PPO – Óxido de polifenileno

PSAI – Poliestireno de alto impacto

PVC – Cloreto de polivinila

REEE – Resíduo de Equipamento Elétrico e Eletrônico

RoHS – *Restriction of Hazardous Substances* / Restrição de Substâncias Perigosas

RSU – Resíduo Sólido Urbano

SBC – *Secretariat of the Basel Convention* / Secretariado da Convenção de Basileia

TBBPA – Tetrabromobisfenol-A

TI – Tecnologia de Informação

TIC – Tecnologia de Informação e Comunicação

UE – União Europeia

UNEP – *United Nations Environment Programme* / Programa das Nações Unidas para o Ambiente

UNU – *United Nations University* / Universidade das Nações Unidas

RESUMO

KOHL, C.A. **Caracterização e valorização de resíduos de gabinetes de microcomputadores de mesa.** São Leopoldo, 2014. 165 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2014.

A presente pesquisa teve como principal objetivo caracterizar e valorizar os resíduos de gabinetes de microcomputadores de mesa (*desktops*). Realizaram-se cinco etapas distintas: efetuar o balanço de massa dos gabinetes e de seus componentes; calcular as taxas de reciclagem dos gabinetes e de seus componentes; efetuar a caracterização dos elementos químicos dos materiais que compõe os gabinetes, e; classificar os resíduos conforme sua periculosidade segundo a ABNT NBR 10004:2004. Alcançaram-se as etapas por meio da desmontagem manual dos gabinetes, da separação e pesagem dos componentes, bem como dos materiais constituintes, dos cálculos das taxas de reciclagem, das análises químicas realizadas no Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X e da comparação dos elementos químicos encontrados nas análises com os Anexos da ABNT NBR 10004:2004. Os resultados mostraram que os gabinetes de microcomputadores de mesa deste estudo, têm a massa média de 10,56 kg e que 81,71% desta massa é composta pelas placas mãe, pelas fontes de energia e pelos invólucros do gabinete (tampa, corpo e outras partes). Os outros componentes que são os drives de disquetes, drives de CDs, cabos IDEs, HDs e os coolers representam 18,29% da massa média dos gabinetes. A taxa de reciclagem obtida para os gabinetes foi de 96,66%, essa taxa representa a quantidade de materiais com possibilidade de ser reciclado nas amostras estudadas. Nas análises químicas efetuadas, encontrou-se o total de 47 elementos químicos da Tabela Periódica, entre eles citam-se o níquel e o antimônio (considerados elementos cancerígenos), o cloro e o bromo (considerados elementos halógenos), bem como o bário, o chumbo e o cromo (considerados elementos que conferem periculosidade aos resíduos). Logo, classificaram-se os gabinetes de microcomputadores deste estudo como resíduos Classe I (perigoso), conforme o método empregado neste trabalho.

Palavras-chave: REEE; resíduo de microcomputadores, reciclagem de computadores, *desktops*.

ABSTRACT

KOHL, C.A. **Characterization and enhance of waste desktop computer, without screen.** São Leopoldo, 2014. 165 sheets. Dissertation (Master Degree in Civil Engineering) – Postgraduate Civil Engineering Program, UNISINOS, São Leopoldo. 2014.

This study aimed to characterize and enhance waste desktop computer, without screen. There were five distinct steps: the mass balance of the desktop computer, without screen, and their components effect; calculate recycling rates of the desktop computer, and their components; make the characterization of the chemical elements of the material that makes up the desktop computer, and; classified as a hazardous waste according to ABNT NBR 10004:2004 Solid Waste - Classification. Been achieved-through the steps: the manual disassembly of the case; separating and weighing the components as well as the constituent materials; the calculation of recycling rates; chemical analyzes by fluorescence spectrometry X-rays, and; comparison of the chemical elements found in analyzes of the Annexes to ABNT NBR 10004: 2004. The results showed that the desktop computer, without screen study, have an average weight of 10.56 kg and 81.71% mass consists of the motherboard, the power supply and the cabinet enclosures (lid and body other parts). The other components are the floppy drives, CD drives, IDE cables, hard disk and coolers represent 18.29% of the mean weight of the cabinets. The recycling rate achieved for the desktop computer, without screen, was 96.66% this rate represents the amount of material likely to be recycled in the samples studied. Chemical analyzes performed, we found a total of 47 chemical elements of the Periodic Table, of these, we mention nickel and antimony (considered carcinogens), chlorine and bromine (halogen elements considered) as well as barium, lead and chromium (considered elements that confer dangerous waste). Soon, classified themselves the desktop computer this study, as Class I (hazardou) waste, according the method used in this work.

Keywords: WEEE; computers waste, computer recycling, desktops.

1 INTRODUÇÃO

A era tecnológica e da inclusão digital está instalada no mundo, com isso a indústria de eletroeletrônicos tem como prioridade a busca constante por novas tecnologias. A fabricação desse tipo de equipamento cresce constantemente, devido ao fato de serem tecnologias de curta vida útil e das facilidades para o acesso dos mesmos a toda população. Esse tipo de indústria seduz com equipamentos cada vez mais rápidos e com mais funcionalidades. O consumismo desse tipo de produto gera volumes crescentes de resíduos pós-consumo, causa impactos irreversíveis ao meio ambiente, danos aos seres vivos e as atividades humanas.

De acordo com ABINEE (2014a) o Brasil possui um dos mercados mais importantes de produtos eletrônicos do mundo. O faturamento do setor eletroeletrônico no ano de 2013 atingiu R\$156,7 bilhões, o qual representou um crescimento de 8% com relação ao ano de 2012, com uma demanda de 178 mil empregos diretos. Esse faturamento representou 3,2% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional no ano de 2013. Dos R\$156,7 bilhões, o setor de equipamentos de informática foi o que mais faturou, o qual atingiu R\$47 bilhões. O crescimento do faturamento do setor eletroeletrônico foi motivado, principalmente, pelos novos bens de consumo no mercado, como *smartphones* e *tablets*.

Segundo CEMPRE (2014) o setor eletroeletrônico é responsável por 2 a 4% do impacto ambiental do planeta. Em contrapartida é este setor que dá suporte para os demais 98% a 96% dos segmentos mundiais, inclusive contribui com a geração de tecnologias que são utilizadas para solucionar os problemas ambientais que ocorrem na atualidade.

Somente no ano de 2012 foram comercializados no Brasil 15,5 milhões de computadores (30 unidades por minuto), desses 6,6 milhões são tipo de mesa. O Brasil ocupou nesse ano o 4º lugar no ranking mundial dos países que mais venderam computadores no mundo, o qual ficou atrás apenas da China, Estados Unidos e Japão. Em 2011 o Brasil ocupava o 3º lugar no ranking mundial (IDC, 2014a). No ano de 2013 foram comercializados no Brasil 13,9 milhões de computadores, número que representa uma queda de 10% se comparado ao volume comercializado em 2012 (IDC, 2014b).

Meirelles (2014) na 25ª Pesquisa Anual do Uso de Tecnologia de Informação estima que no ano de 2013, a base ativa de microcomputadores no Brasil (micros em uso) chegou a 128 milhões e que em 2014 esse número chegue a 136 milhões (2 para cada 3

habitantes). O autor estima que em 2016 a base ativa chegue a de 200 milhões de unidades (1 para cada habitante). No mundo, a base ativa foi estimada em 2 bilhões de unidades em 2013 (VARIN e ROINAT, 2008).

Estima-se que todos os anos 50 milhões de toneladas de REEE sejam gerados em todo o mundo. O descarte inadequado desses resíduos acarreta sérios riscos para a saúde humana e para o meio ambiente. Os REEE representam mais de 5% de todos os resíduos sólidos urbanos gerados e cresce constantemente, estima-se que seja quase a mesma quantidade das embalagens plásticas geradas (UNEP, 2005).

Estima-se que na União Europeia (UE) foram gerados em 2009 de 20 a 36 kg/hab.ano de REEE (HUISMAN et al., 2008). A geração de REEE no Brasil está estimada em 3,77 kg/hab.ano (ARAÚJO, 2012). Os REEE são considerados um dos principais problemas ambientais da atualidade (HUANG, GUO e XU, 2009), pois é um dos fluxos de resíduos mais complexos que exigem gestão. Isto é devido ao fato de que os EEE abrangem uma grande variedade de produtos, que vão desde secadores de cabelo até sistemas altamente integrados, como computadores e telefones celulares (CROWE et al., 2003).

Os microcomputadores possuem vida útil em torno de 3 a 5 anos (LEITE, LAVEZ e DE SOUZA, 2009; SCHLUEP et al., 2009). A vida útil dos microcomputadores nos países industrializados está estimada em 3 anos e sua estrutura interna é complexa e de difícil reciclagem (KUEHR, 2006). Na perspectiva de vida útil de 5 anos e com a estimativa de uma base ativa de 136 milhões de computadores em 2014, pode-se inferir que o Brasil terá 136 milhões de unidades de resíduos de microcomputadores a serem descartadas no ano de 2019. A geração de resíduos de microcomputadores de mesa no Brasil está estimada em 0,56 kg/hab.ano (ARAÚJO, 2012).

Os REEE geralmente tem descarte inadequado, na maioria das vezes são despejados em lixões a céu aberto ou abandonados em terrenos baldios, principalmente nos países em desenvolvimento. Dentre os diversos REEE, os resíduos de microcomputadores podem causar sérios impactos ambientais, pois entre seus componentes, existem substâncias e materiais que podem ser tóxicos como o chumbo, o cromo, o cádmio, dentre outros (MONCHAMP, 2000; MARKLEY, 2001; CROWE et al., 2003; UNEP, 2005; FRANCO, 2008).

Esse bem de consumo quando não é mais útil ao seu dono, deve ter um gerenciamento de descarte adequado. Os computadores são constituídos por materiais com

elevado valor comercial que podem ser reciclados (MARKLEY, 2001; CROWE et al., 2003; FRANCO, 2008; VARIN e ROINAT, 2008; SBC, 2011; SCHLUEP et al., 2012). A reciclagem de computadores é uma alternativa sustentável para minimizar o problema do descarte desse tipo de resíduo. De acordo com Pallone (2008) 94% dos componentes dos microcomputadores podem ser reciclados, os quais podem ser recuperados por desmonte e segregação dos componentes principais.

1.1 JUSTIFICATIVA

O presente estudo justifica-se pelo fato de contribuir para a sustentabilidade dos serviços em saneamento ambiental de interesse social no país. Também tende a atender a Lei nº 12.305, de 02 de Agosto de 2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), por meio da utilização de um dos seus instrumentos que é a pesquisa científica e tecnológica.

Conforme a PNRS, em seus princípios e objetivos, são preconizadas a não geração, redução, reutilização, reciclagem e o tratamento dos resíduos sólidos, bem como a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Pretende-se somar esforços para o desenvolvimento de um gerenciamento sustentável dos resíduos de gabinetes de microcomputadores de mesa. Busca-se a valorização destes resíduos por meio da identificação dos diversos materiais e substâncias neles contidas, para após, ser feita a reciclagem e destinação dos materiais encontrados de maneira eficiente.

A reciclagem de computadores surge como uma oportunidade de recuperação de matérias-primas de uma forma ambientalmente saudável. O preço da sucata de metal subiu consideravelmente nos últimos anos, devido à escassez causada pelo aumento do consumo destas matérias-primas (VARIN e ROINAT, 2008). Isso faz com que a reciclagem se torne economicamente viável e atraente (VARIN e ROINAT, 2008; PINHEIRO et al., 2009).

Segundo a USGS (2001) uma tonelada de resíduos de microcomputadores contém mais ouro que 17 toneladas de minério bruto do ouro. No Brasil a cada tonelada de minério extraído, sobram apenas 0,4 gramas de ouro (ABES, 2011). Segundo Hilty (2005) a mineração pode causar impactos ambientais irreversíveis, cria enormes buracos com explosivos e altera o equilíbrio ecológico do local e da circunvizinhança. Também há de se levar em conta que o suprimento de certos metais pode ser um fator limitante na produção de futuros equipamentos eletrônicos (HISCHIER et al., 2007).

De acordo com Schluep et al. (2009) a produção de 1 kg de alumínio a partir da reciclagem utiliza apenas 10% (ou menos) da energia que é necessária na produção primária. Essa reciclagem evita a geração de 1,3 kg de resíduo de bauxita, 2 kg de emissões de CO₂ e 0,011 kg de emissões de SO₂.

A recuperação dos materiais contidos nos resíduos de microcomputadores faz com que haja economia dos recursos naturais retirados da natureza, o qual resulta na volta destas matérias-primas a novos ciclos produtivos. Essa recuperação também diminui a quantidade de resíduos eletrônicos enviados para os lixões, com isso evita-se que os metais pesados contidos nesses resíduos contaminem o meio ambiente.

Outro motivo pelo qual essa pesquisa torna-se relevante é o fato de que uma grande parcela dos estudos existentes referentes à REEEs no Brasil está direcionada para a gestão desses resíduos (BEIRIZ, 2005, DAS VIRGENS, 2009; RODRIGUES, 2007; FRANCO, 2008; MAGALHÃES, 2011; SANTOS, 2012; RODRIGUES, 2012). Outra parcela de estudos está direcionada para a reciclagem somente das placas de circuito impresso, as quais possuem metais preciosos (VEIT, 2005; VEIT, 2006; DE SANTA HELENA, 2009; CASTRO e MARTINS, 2009; KASPER, 2011; YAMANE et al., 2011; DE MORAES, 2011). Logo, vê-se a necessidade de espriar os estudos referentes aos REEE.

1.2 OBJETIVOS

Na sequencia apresenta-se os objetivos deste trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo geral caracterizar e valorizar os resíduos de gabinetes de microcomputadores de mesa, a fim de identificar onde se encontram os materiais com substâncias de interesse, bem como classificá-los quanto ao seu risco potencial ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados corretamente.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Efetuar o balanço de massa dos resíduos de gabinetes de microcomputadores de mesa;
- Calcular a potencial taxa de reciclagem dos resíduos de gabinetes de microcomputadores de mesa;

- Efetuar a caracterização dos elementos químicos que compõe os resíduos de gabinetes de microcomputadores de mesa;
- Classificar os resíduos dos gabinetes de microcomputadores de mesa conforme a sua periculosidade.

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos. No capítulo um apresenta-se uma visão geral do contexto do estudo, o objetivo geral e os objetivos específicos. No capítulo dois apresenta-se a revisão bibliográfica. A revisão foi elaborada a fim de se obter o embasamento teórico a respeito dos equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE) e dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE), principalmente no que diz respeito aos resíduos de microcomputadores. Abordam-se temas relacionados com mercado de microcomputadores, bem como sua composição e as substâncias contidas nesses. Os aspectos legais relacionados ao tema, o ciclo de vida e os processos de reciclagem de microcomputadores de mesa foram mencionados. A abordagem destes temas permitiu construir e compreender o contexto da problemática dos REEE no Brasil e no mundo. No terceiro capítulo apresentam-se os materiais e métodos utilizados para desenvolvimento da pesquisa e no quarto capítulo abordam-se os resultados e discussões sobre a referida pesquisa. O quinto capítulo refere-se às conclusões obtidas.

1.4 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Esta dissertação está vinculada ao projeto de pesquisa “METODOLOGIAS E TECNOLOGIAS PARA GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS SÓLIDOS: ÊNFASE NA REDUÇÃO E VALORIZAÇÃO EM AMBIENTES URBANOS (TECRESOL)”. Financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), o qual é executado em rede de pesquisa pelas instituições de ensino: Universidade Federal da Bahia (UFBA), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade Federal do Tocantins (UFT), Universidade Federal do Ceará (UFC) e Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

O projeto TECRESOL tem como objetivo geral desenvolver metodologias sustentáveis de gestão de resíduos sólidos com ênfase em tecnologias de redução e valorização destes, em ambientes urbanos. Em função do que preconiza a Lei nº 12.305 de Agosto de 2010, sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dos problemas ambientais e de saúde pública decorrentes da gestão inadequada desses resíduos e baseando-se nos

quantitativos gerados, priorizaram-se estudos de processos e tecnologias de redução e valorização de quatro tipos de resíduos: os orgânicos biodegradáveis e não biodegradáveis de origem doméstica, os resíduos da construção civil e os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE).

O presente estudo está inserido na etapa de valorização de REEE e restringiu-se a desmontagem, caracterização e valorização de resíduos de gabinetes de microcomputadores de mesa, gerados no campus de São Leopoldo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Instalou-se uma unidade de pré-tratamento de resíduos de gabinetes de microcomputadores de mesa no Laboratório de Saneamento Ambiental da UNISINOS. Os equipamentos para desmontagem foram obtidos no Setor de Suprimentos da Universidade.

A valorização deu-se por meio da identificação: a) de onde se encontram os materiais com substâncias de interesse; b) de onde se encontram os componentes considerados perigosos; c) dos processos de reciclagem existentes, e; d) dos locais onde se realizam a reciclagem deste tipo de resíduo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Construiu-se este capítulo de forma a apresentar o estado da arte da indústria de equipamentos elétricos e eletrônicos, bem como da problemática dos REEE no Brasil e no mundo. Deu-se ênfase na geração, na composição e nos processos de reciclagem de resíduos de microcomputadores de mesa.

2.1 EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS (EEE)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Norma Brasileira (NBR) 16156:2013 - Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos para atividade de manufatura reversa, define os equipamentos eletroeletrônicos (EEEs) como equipamentos e peças cujo funcionamento adequado depende de correntes elétricas ou campos eletromagnéticos, bem como equipamentos para a geração, transmissão, transformação e medição dessas correntes e campos, os quais podem ser para uso doméstico, industrial, comercial e uso de serviço (ABNT, 2013). A Diretiva Europeia 2012/19/UE define os equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE) como:

equipamentos dependentes de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos para funcionarem corretamente, bem como os equipamentos para geração, transferência e medição dessas correntes e campos, e concebidos para utilização com uma tensão nominal não superior a 1.000 V para corrente alternada e 1.500 V para corrente contínua (UNIÃO EUROPEIA, 2012, p. 6).

Conforme a União Europeia (2012) no anexo I da Diretiva 2012/19/UE, os EEE são divididos em 10 categorias apresentadas no Quadro 1. Os computadores estão enquadrados na Categoria 3 - Equipamentos de Informática e de Telecomunicações. Dentro desta categoria se encontram os mainframes, microcomputadores, minicomputadores, impressoras, copiadoras, máquinas de escrever, calculadoras e telefones, dentre outros. Segundo Bigum, Brogaard e Christensen (2012) dentre todas as categorias de EEE as categorias 3 e 4 são as que possuem frações mais ricas em metais preciosos.

Quadro 1 – Categorias de EEE abrangidos pela Diretiva Europeia 2012/19/UE.

Categoria	Tipo	Categoria	Tipo
1	Grandes eletrodomésticos.	6	Ferramentas elétricas e eletrônicas
2	Pequenos eletrodomésticos.	7	Brinquedos e equipamentos de desporto/lazer
3	Equipamentos de informática e de telecomunicações.	8	Aparelhos médicos (com exceção de todos os produtos implantados e infectados).
4	Equipamentos de consumo e painéis fotovoltaicos.	9	Instrumentos de monitoramento e controle.
5	Equipamentos de iluminação.	10	Distribuidores automáticos.

Fonte: União Europeia (2012).

Segundo a IDC (2014c) a América Latina é a região com maior crescimento no mercado de Tecnologia de Informação (TI) do mundo. Em 2013 esse mercado cresceu 10,3% e chegou a 140,5 bilhões de dólares. O *hardware* foi responsável por cerca de 2/3 do crescimento, enquanto que o software por 13% e os serviços 21%. México, Brasil e Colômbia são os mercados de maior crescimento, com taxas de 13%, 12% e 11%, respectivamente. Nos mercados emergentes, os gastos com TI em 2013 cresceram 8,8%, os quais atingiram mais de 730 bilhões de dólares, esse valor representou o dobro do crescimento dos mercados desenvolvidos.

Conforme Macedo et al. (2009) a indústria elétrica e eletrônica é caracterizada pelo seu intenso dinamismo tecnológico. Devido a esse fato são necessárias sucessivas mudanças, a fim de competir num mercado onde antecipar tendências tecnológicas é uma preocupação das empresas e governos. É um negócio de extrema importância para a economia brasileira, onde as indústrias locais têm o desafio de se reinventar continuamente, para competir num mercado que se renova a cada cinco anos.

De acordo com Byrro et al. (2010) construir uma parceria público-privada é fundamental para o crescimento da indústria eletroeletrônica no Brasil e as questões ambientais são relevantes nesse processo. A perspectiva do aumento do consumo de eletrônicos nos próximos anos traz a tona questões como o descarte desses resíduos, o armazenamento adequado, a identificação de locais apropriados para este fim e a destinação ambientalmente adequada de alguns materiais. Também deve ser levada em conta a forte presença do mercado informal.

Segundo Schluep et al. (2009) os impactos ambientais sobre os recursos naturais de metais são os principais na fabricação de EEE. São utilizados cerca de 40 milhões de toneladas de metais por ano na fabricação desse tipo de equipamento. Um telefone celular pode conter até 40 elementos da Tabela Periódica. A indústria eletrônica utiliza quase 80% da demanda mundial de índio, mais de 80% de rutênio e 50% de antimônio. Com uma taxa de crescimento dinâmica, os EEE são os principais motivadores da procura e do aumento de preço de uma quantidade grande de metais. O valor monetário da utilização de alguns desses metais chegou a quase US\$ 45 bilhões no ano de 2006.

Na produção primária de metais para a fabricação de EEE, o impacto ambiental com relação à emissão de CO₂ também é significativo, especialmente para os metais preciosos. Para produzir uma tonelada de ouro, paládio ou platina, são emitidas cerca de 40.000 toneladas de CO₂, já na produção do cobre tem-se uma emissão de 3,4 t de CO₂ por

tonelada de metal. A emissão total de CO₂ chegou a quase 24 milhões de toneladas somente no ano de 2006 (SCHLUEP et al., 2009).

Com relação à fabricação de computadores, têm-se hoje no Brasil 23 empresas, predominantemente no estado de São Paulo (ABINEE, 2014b). Das Virgens (2009), cita que os produtores são um dos principais grupos de atores da cadeia reversa de pós-consumo de computadores.

Países em todo o mundo têm um rápido acesso às tecnologias de informação e isso impulsiona as vendas de microcomputadores. Estima-se que somente em 2008 a base ativa dessas máquinas era de 1 bilhão de unidades em todo o mundo e que em 2013 esse número chegou a 2 bilhões. O Brasil, Rússia, Índia e China terão mais de 775 milhões de novos microcomputadores até 2015. A China passará de 55 milhões de unidades em 2007 para 500 milhões em 2015 (VARIN e ROINAT, 2008).

De acordo com Huisman et al. (2008) a quantidade estimada de microcomputadores colocada no mercado europeu entre 2000 e 2008, foi de 233 milhões de computadores de mesa e 149 milhões de *notebooks*. Schluep et al. (2009) estimam que nos Estados Unidos da América mais de 24 milhões de microcomputadores foram fabricados somente no ano de 2006. A Índia possuía uma base instalada de 5 milhões de máquinas nesse mesmo ano e cresce a uma taxa de 25% ao ano. Já na China foram vendidos cerca de 14 milhões de micros em 2005.

Segundo a IDC (2014a) no ano de 2010 a venda de microcomputadores de mesa ainda predominava no Brasil, diferentemente do que acontece em outras nações. Já nos anos de 2011 e 2012 houve uma queda na venda desse tipo de microcomputador. A proximidade de preços entre os portáteis e os micros de mesa orienta a preferência dos usuários domésticos pelos *notebooks*, que têm a facilidade de serem portáteis. Os dados da Tabela 1 mostram que há uma tendência de queda nas vendas dos micros de mesa no país (IDC, 2014a). A Tabela 1 apresenta os dados de venda de microcomputadores no Brasil nos anos de 2010 a 2013.

Tabela 1 – Venda de microcomputadores no Brasil nos anos de 2010 a 2013.

Ano	Portáteis (un)	De mesa (un)	Total vendido	Segmento	
	<i>Notebooks</i> <i>Netbooks</i>	<i>Desktops</i>		Doméstico	Corporativo/ governo/educação
2010	6.165.000	7.535.000	13.700.000	-	-
2011	8.470.000	6.930.000	15.400.000	10.780.000	4.620.000
2012	8.900.000	6.600.000	15.500.000	10.323.000	5.177.000
2013	-	-	13.900.000	-	-

Fonte: Adaptado de IDC (2014a e 2014b).

2.1.1 Computadores

Computador é um conjunto de dispositivos eletrônicos interligados, guiados por programas, os quais conseguem executar automaticamente uma série de trabalhos complexos, com grande velocidade e precisão. Essa atividade ocorre em três etapas, que são a entrada, o processamento e o armazenamento e a saída de informações. O hardware é o nome dado ao conjunto de dispositivos (componentes físicos) que formam o computador, esta é a máquina propriamente dita (BIZZOTO e BIANCHI, 1998). Os computadores são classificados pelo porte, o qual é dividido em três categorias, os mainframes, os microcomputadores e minicomputadores. Os microcomputadores possuem duas categorias, os portáteis (*notebooks* e *handhelds*) e os microcomputadores de mesa (*desktops*). Todos os microcomputadores realizam operações internas idênticas, mas em escala diferente (MORAZ, 2006).

A partir da década de 70 iniciou a microinformática. O primeiro microcomputador foi desenvolvido em 1974 pela empresa Radio *Eletronic*, denominado de Mark-8, colocado no mercado em Julho de 1974, onde foram produzidas aproximadamente 2000 unidades. O Mark-8 é considerado o primeiro microcomputador pessoal a ser comercializado. Em Agosto de 1981 surgiu o IBM-PC 5150 (Figura 1), ou *Personal Computer* (Computador Pessoal), que se tornou um padrão de microcomputador, o qual teve uma evolução rápida. O IBM-PC 5150 tornou-se o microcomputador mais vendido entre as várias marcas que existiam no mercado (BIZZOTO e BIANCHI, 1998). Esse microcomputador é o precursor do padrão mais usado em todo mundo.



Figura 1 – Imagem do IBM-PC 5150 de 1981.

Fonte: Oldcomputers (2014).

O microcomputador de hoje é resultado de várias décadas de evolução. Partiu de equipamentos pesados, grandes, cheios de componentes complexos e caros, os quais eram acessíveis somente a poucos, sendo estes instituições, grandes empresas, militares e algumas

peças com alto poder aquisitivo. Na década de 90 o microcomputador ainda era uma máquina cara, mas a evolução, a minimização e a popularização dessas máquinas permitiram que qualquer pessoa pudesse adquirir um equipamento (MORAZ, 2006).

A lógica de utilização de um microcomputador continua a mesma desde a criação do IBM-PC 5150. Até os dias de hoje seus componentes básicos são os mesmos, o gabinete, o teclado (considerados dispositivos periféricos de entrada de dados) e o monitor (considerado dispositivo de saída de dados) (MORAZ, 2006). A Figura 2 apresenta a estrutura de um microcomputador.

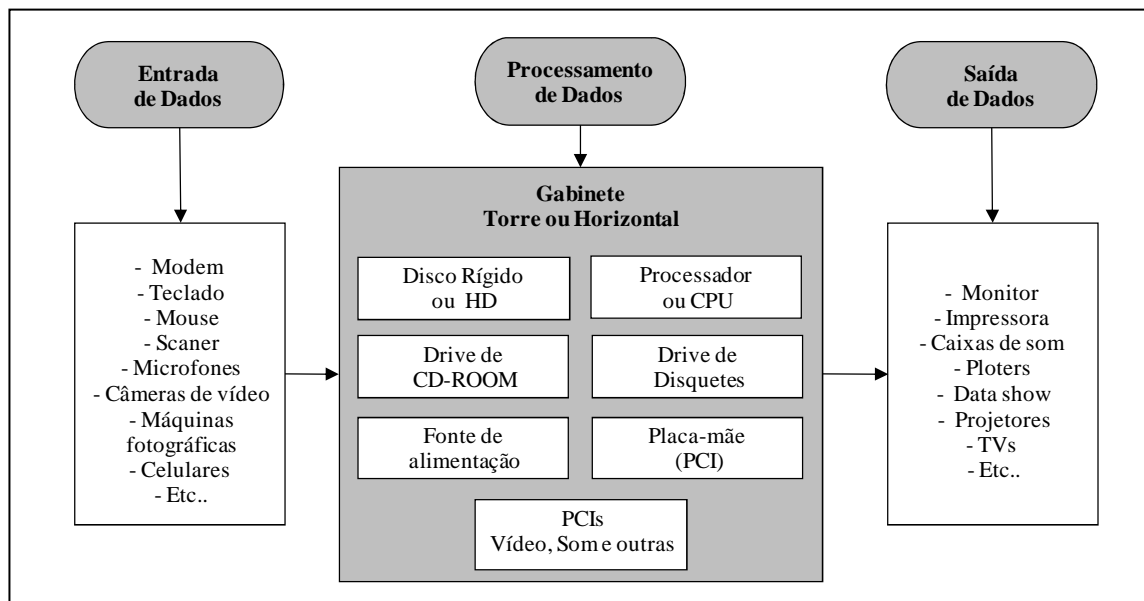


Figura 2 – Estrutura de um microcomputador.

Fonte: Adaptado de Moraz (2006).

A produção de microcomputadores e seus componentes é complexa, consome vários recursos naturais e energia (KUEHR, 2006). Para produzir um *chip* de memória de 32 Mb que pesa somente 2 gramas, são necessários 1,6 kg de combustíveis fósseis e 72 g de produtos químicos. O consumo de gases elementares (principalmente N₂) é de 700 g para cada *chip* produzido e o consumo de água é de 32.000 litros (WILLIAMS, AYRES e HELLER, 2002). Na produção de 1 L de cerveja, 1 kg de batatas, 1 L de leite e 1 kg de frango, consomem-se respectivamente 5,5 L, 132,5 L, 712,5 L e 3.700 L de água (PLANETA SUSTENTÁVEL, 2014).

Para fabricar um microcomputador de mesa com um monitor de tubo de raios catódicos (CRT) de 17 polegadas, são necessários 22 kg de produtos químicos, 1.500 litros de

água, 240 kg de combustíveis fósseis e uma grande quantidade de energia. Na fabricação de uma geladeira são consumidos cerca de 50 kg de combustíveis fósseis (KUEHR, 2006).

2.1.1.1 Elementos/materiais/substâncias contidos em microcomputadores de mesa

Segundo a MCC (1996) um microcomputador de mesa típico (gabinete, monitor e teclado) de 31,8 kg é constituído de uma quantidade pequena de materiais perigosos. A análise feita pela empresa revelou que essa máquina possui os seguintes elementos: 24,9% de sílica, 23% de plásticos, 20,5% de ferro, 14,2% de alumínio, 7% de cobre, 6,3% de chumbo, 2,2% de zinco, 1,0% de estanho e 0,85% de níquel. Outros elementos como o manganês, bário e prata ficam entre 0,03% e 0,01%. Elementos como cádmio, cromo, antimônio e ouro são encontrados em quantidades menores que 0,01%. Em outro trabalho, Crowe et al. (2003) obteve a massa média de 29,6 kg para um microcomputador de mesa típico e uma composição de 35,3% de metais ferrosos, 8,4% de metais não ferrosos, 15% de vidro, 23,3% de plásticos, 17,3% de componentes eletrônicos¹ e 0,7% de outros materiais.

Segundo Monchamp (2000); Markley (2001) e Crowe et al. (2003) os elementos químicos perigosos encontrados em microcomputadores de mesa são: chumbo (Pb), cádmio (Cd), níquel (Ni), cromo (Cr), antimônio (Sb), estrôncio (Sr), estanho (Sn) e bário (Ba). Estes elementos estão geralmente contidos nos plásticos como pigmentos e estabilizadores. O lítio (Li) também é considerado um elemento químico perigoso. Os retardantes de chamas halogenados encontrados nos plásticos e nas PCIs também estão na lista dos perigosos. Crowe et al. (2003) relata ainda que os metais ferrosos (ferro e aço) e os metais não ferrosos (alumínio e o cobre e suas ligas) de um micro podem conter tais substâncias, mas o potencial de risco desses materiais é considerado baixo.

Segundo Markley (2001) os efeitos dos produtos químicos perigosos contidos nos microcomputadores são diversos para a saúde e podem causar danos irreversíveis aos seres humanos e ao meio ambiente, se manipulados de maneira insegura. Os materiais/substâncias/elementos que são encontradas em um microcomputador de mesa típico e que supostamente representam riscos para o meio ambiente e para a saúde humana estão descritos a seguir.

Plásticos: representam 23% da massa dos micros. Os mais usados são o acrilonitrila butadieno estireno (ABS) (57%), o óxido de polifenileno (PPO) (36%), o

¹ Os componentes eletrônicos são partes constituintes dos circuitos eletrônicos, desde que estejam interligados entre si. São considerados componentes eletrônicos: transistores, diodos, capacitores, indutores, resistores, transformadores, conectores (slots e USB), interruptores e switches (HISCHIER et al., 2007).

poliestireno de alto impacto (PSAI) (5%) e o acrilonitrila-butadieno-estireno/policarbonato (blenda ABS/PC) (2%). O cloreto de polivinila (PVC) representa apenas 0,6% desse valor, o que não constitui uma quantidade significativa. Eles também possuem retardantes de chama halogenados, os quais representam toda uma classe de substâncias químicas, todos com diferentes e variadas propriedades químicas e estruturais (MONCHAMP, 2000). De acordo com Crowe et al. (2003) os retardantes de chama são responsáveis por cerca de 15% da massa dos plásticos contidos em micros. O que faz com que os plásticos representem riscos ambientais é que sua composição contém pigmentos e estabilizadores como cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni), cromo (Cr), estrôncio (Sr), estanho (Sn) e bário (Ba).

Os plásticos com pigmentos estabilizadores quando queimados podem gerar gases tóxicos. A produção e queima desses produtos pode gerar dioxinas e furanos que são cancerígenos. A queima a céu aberto, bem como incineradores de lixo são as principais causas da formação de dioxinas e furanos no meio ambiente. Cabe salientar que se a produção, operação e a destinação forem efetuadas de forma ambientalmente correta, os danos à saúde e ao meio ambiente podem ser minimizados ou até mesmo eliminados (MARKLEY, 2001).

Antimônio (Sb): CAS nº 7440-36-0. É considerado uma substância perigosa para o meio ambiente, nocivo para o homem e tóxico para ambientes aquáticos. O Sb e seus recipientes devem ser eliminados como resíduos perigosos (GUIDECHEM, 2014). O trióxido de antimônio (Sb_2O_3) (CAS nº 1309-64-4) é o composto comercial do antimônio. Pode ser utilizado em computadores como retardante de chamas, nas PCIs como encapsulante de *chips* e em monitores. As estimativas para a quantidade de Sb contida em micros é de apenas 0,0094% (MONCHAMP, 2000). O Sb_2O_3 é o único composto de antimônio que é utilizado como retardante de chamas e é uma substância não halogenada (SILVA, 2014). O Sb_2O_3 pertence ao Grupo 2B (IARC 2B - substâncias para as quais os testes feitos em animais revelam evidência da possibilidade de propriedades cancerígenas (possíveis efeitos cancerígenos)) segundo a *International Agency for Research on Cancer of the World Health Organization* (IARC, 2014).

Níquel (Ni): CAS nº 7440-02-0. Este elemento e seus compostos estão na Categoria 1 (substâncias confirmadas como cancerígenas para o ser humano) segundo a IARC (IARC, 2014). Martinelli et al. (2014) efetuaram um estudo sobre a lixiviação de baterias de níquel-cádmio (Ni-Cd) no solo. As baterias foram colocadas em duas colunas diferentes de solo por um período de dois anos. Após este período, foi realizada a lixiviação e em seguida foi avaliado o comportamento dos metais em cada coluna. Sob as condições da experiência, o

cádmio e o níquel mostraram um grande potencial de contaminação de águas subterrâneas e também de afetar os ciclos naturais do solo. O descarte de baterias Ni-Cd diretamente para o solo aumentou a concentração de níquel e cádmio, ultrapassando os valores de intervenção definidos na Resolução CONAMA nº 420/2009². Os autores concluíram que a disposição de inadequada de bateria Ni-Cd no solo demonstra-se extremamente alarmante.

Cádmio (Cd) e Lítio (Li): CAS nº 7440-43-9 e CAS nº 7439-93-2. Tradicionalmente usadas em micros, às baterias de níquel-cádmio foram substituídas por baterias de íon de lítio. As baterias de níquel-cádmio constituíam menos de 1% do mercado de baterias dos microcomputadores (MONCHAMP, 2000). O Estudo da MCC (1996) descobriu que ambos os produtos químicos são usados em quantidades vestigiais (<0,01%).

Os compostos de cádmio são classificados como tóxicos e podem causar danos irreversíveis a saúde humana. Acumulam-se no organismo principalmente nos rins e são absorvidos por meio da respiração. Causam sintomas de envenenamento e são acumulativos também no ambiente, apresentam riscos devido ao fato de ser um produto com toxicidade aguda e crônica (MARKLEY, 2001). O Cd e seus compostos estão na Categoria 1 (substâncias confirmadas como cancerígenas para o ser humano) segundo a IARC (IARC, 2014).

As baterias de íon de lítio não representam maiores preocupações com relação à toxicidade, pois não contém componentes gasosos ou líquidos livres. A única questão ambiental levantada com relação às baterias de íon de lítio, é que se forem picadas durante o processo de reciclagem, podem representar risco de incêndio. Esse risco pode ser minimizado por meio de uma gestão de reciclagem adequada (MARKLEY, 2001).

Chumbo (Pb): CAS nº 7439-92-1. Representa 6,3% da massa de um microcomputador, dessa quantidade a maioria é incorporada no vidro que compõe o monitor de tubo de raios catódicos (CRT). A segunda maior fonte de Pb em um micro são as ligas de solda de chumbo-estanho utilizadas para unir *chips* e componentes das placas de circuito impresso. Estima-se que o total de Pb em uma placa de circuito impresso é de 0,7% do seu total de massa. O Pb também é utilizado como estabilizador plástico em algumas aplicações de PVC. Alguns cabos de PVC e revestimentos de fios contêm sulfato de chumbo em pequenas quantidades, para evitar a quebra do cabo plástico devido à exposição aos raios

² Resolução CONAMA nº 420/2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. (BRASIL, 2009).

ultravioleta e ao calor elevado. Pequenas quantidades de Pb também podem ser encontradas em baterias para fornecimento de energia (MONCHAMP, 2000).

Segundo Markley (2001) o chumbo provoca danos no sistema nervoso central e periférico, no sangue e rins. Também são observados graves efeitos no sistema endócrino e no desenvolvimento do cérebro de crianças. O chumbo causa efeitos tóxicos sobre as plantas, animais e microrganismos devido ao fato de acumular-se no meio ambiente. Cerca de 40% do chumbo encontrado em aterros sanitários derivam de REEE, que pode lixiviar e contaminar a água. Segundo a IARC (2014) o Pb e os compostos de chumbo pertencem a Categoria 2B (substâncias para as quais os testes feitos em animais revelam evidência da possibilidade de propriedades cancerígenas (possíveis efeitos cancerígenos))

Cromo (Cr): CAS n° 7440-47-3. Pode ser encontrado em aplicações de revestimento de microcomputadores, no entanto, essas utilizações são raras. O cromo trivalente (Cr^{+3}) é considerado um nutriente essencial e relativamente não tóxico para humanos e mamíferos. No entanto, o Cr^{+3} pode oxidar-se na natureza, transformando-se assim, na sua forma mais tóxica que é o cromo hexavalente (Cr^{+6}). Para o homem, o Cr^{+6} é considerado uma substância cancerígena (BARROS, 2004).

O cromo hexavalente (Cr^{+6}) pode passar por meio das membranas das células e pode produzir vários efeitos tóxicos no interior das mesmas. É facilmente absorvido pelo organismo, provoca fortes reações alérgicas, como a bronquite asmática, mesmo em pequenas concentrações. O Cr^{+6} também pode causar danos ao DNA. É uma substância tóxica para o meio ambiente e pode lixiviar em aterros, o qual pode contaminar o solo e a água (MARKLEY, 2001). O Cr^{+6} está na Categoria 1 (substâncias confirmadas como cancerígenas para o ser humano) segundo a IARC (IARC, 2014).

Bário (Ba): CAS n° 7440-39-3. É um elemento químico facilmente inflamável, corrosivo e irritante. É considerado tóxico por ingestão e muito tóxico por inalação, provoca queimaduras e reage violentamente com a água (GUIDECHEM, 2014). O bário consta no Anexo II da Resolução CONAMA n° 420/2009 e é considerada uma substância química cuja sua presença pode contaminar o solo e pode configurar sérios riscos à saúde pública e ao meio ambiente (BRASIL, 2009).

Retardantes de chamas halogenados: os compostos halogenados a base de bromo (compostos organobromados, BFRs ou retardantes de chamas bromados) e a base de cloro (compostos organoclorados) são os dois principais retardantes de chamas utilizados na

indústria em geral. Os éteres difenílicos polibromados (PBDEs), as bifenilas polibromadas (PBBs) e o tetrabromobisfenol-A (TBBPA) (CAS nº 79-94-7) pertencem ao grupo dos BFRs. Os PBDEs e PBBs são substâncias consideradas perigosas pela Diretiva Europeia 2011/65/EU. Estes dois grupos de substâncias também constam na NBR 16156:2013, em seu Anexo A (substâncias ou grupos de substâncias que conferem risco para resíduos elétricos e eletrônicos) como substâncias perigosas.

O retardante de chama mais utilizado na indústria eletrônica é o TBBPA e o seu uso em plásticos não é considerado perigoso (MONCHAMP, 2000). Um estudo da *European Food Safety Authority* (EFSA) analisou o TBBPA em 652 amostras de alimentos em quatro países europeus (Irlanda, Noruega, Espanha e Reino Unido), no período de 2003 a 2010. O estudo concluiu que o TBBPA não é genotóxico e que não há indícios de que essa substância possa ser cancerígena. Também concluiu que a corrente exposição alimentar ao TBBPA na União Europeia não pode ser considerado um problema de saúde (EFSA, 2011).

Os compostos a base de cloro (organoclorados), principalmente as bifenilas policloradas (PCBs) são utilizadas em óleo de isolamento, óleo lubrificante, meio de isolamento elétrica, solvente, solução eletrolítica, plastificantes, retardantes de chama, coberturas para cabos elétricos e selantes dielétricos. Também são considerados compostos organoclorados os terfenilos policlorados (PCTs), os quais possuem a mesma utilização dos PCBs e os naftalenos policlorados (PCNs). Os PCNs são utilizados em lubrificantes e em tintas, também são utilizados como estabilizadores (por suas características elétricas, resistentes à chama e resistentes a água), como isoladores e retardantes de chamas. Estas substâncias constam no Anexo A da NBR 16156:2013 (ABNT, 2013). Este grupo de substâncias não conta no Anexo II da Diretiva Europeia 2011/65/EU.

Segundo Markley (2001) os retardantes de chama halogenados podem atuar como desreguladores endócrinos, aumentam o risco de câncer do sistema digestivo (boca, faringe, esôfago, intestino delgado e intestino grosso). Podem causar também câncer no pâncreas, no fígado e no sistema linfático. A principal via de contaminação desse produto é o ambiente aquático, pois são quase insolúveis na água, são encontrados em sedimentos de lagos e rios poluídos. São 200 vezes mais solúveis nos lixiviados dos aterros do que na água destilada, isso faz com que ocorra maior distribuição no ambiente.

Markley (2001) e Crowe et al. (2003) expõem que microcomputadores contém bifenilas policloradas (PCBs). Não obstante Monchamp (2000) e OECD (2003) relatam que há equívocos na literatura de que PCBs tenham sido utilizadas em microcomputadores de

mesa, os autores expõem ainda que estas substâncias não são encontradas em seus resíduos. As PCBs foram largamente usadas como refrigerantes e lubrificantes em transformadores, capacitores e outros equipamentos elétricos (eletrodomésticos, como televisores e geladeiras). Em 1977 a produção e utilização de PCBs foram proibidas nos Estados Unidos, pois apresentavam sérios riscos à saúde humana (MONCHAMP, 2000). O primeiro microcomputador largamente comercializado foi o IBM-PC 5150 em 1981. Nesse período a proibição do uso de bifenilas policloradas já vigorava nos Estados Unidos há quatro anos.

No Brasil, a proibição do uso e comercialização das PCBs em todo território nacional ocorreu em 1981, quando foi promulgada a Portaria Interministerial 019 (MIC, MI, MME). As PCBs foram utilizadas na área industrial como estabilizantes de diversas formulações de plásticos, principalmente do PVC e da borracha clorada (BRASIL, 2014).

Markley (2001) e Crowe et al. (2003) relatam ainda que os micros também contêm mercúrio (Hg). Não obstante, Monchamp (2000) relata que há equívocos na literatura de que o mercúrio (Hg) tenha sido utilizado em microcomputadores de mesa. De acordo com o autor o mercúrio nunca foi utilizado em micros, pois disjuntores de mercúrio e relés não foram usados em microcomputadores de mesa. O uso de mercúrio era habitual em grandes computadores e equipamentos de comutação telefônica, mas foi eliminado antes do desenvolvimento dos micros. Este elemento pode ser encontrado atualmente em laptops e em monitores de tela plana.

Quase todas as substâncias contidas em microcomputadores que podem causar danos à saúde e ao meio ambiente, não estão na forma sólida dispersível. O uso ou manipulação de um micro não causa nenhum prejuízo ao meio ambiente e a saúde, portanto, não há motivos para tal preocupação. Nenhuma substância é liberada quando o microcomputador é usado, transportado ou desmontado. A preocupação com saúde e com o meio ambiente ocorre quando o equipamento é descartado em aterros ou incinerado de forma irregular. Certos cenários irregulares de reciclagem também podem representar riscos, como o processamento para recuperação de metais ou plásticos por meio da trituração, moagem, queima e derretimento (OECD, 2003).

2.1.1.2 Composição de gabinetes de microcomputadores de mesa

De acordo com Hischier et al. (2007) um gabinete de microcomputador de mesa com processador tipo Pentium 4, fabricado no ano de 2002 tem a massa média de 11,3 kg. Os autores efetuaram desmontagem manual do referido equipamento, os quais obtiveram a

seguinte composição de materiais: 0,26 kg de plásticos, 0,46 kg de metais não ferrosos, 6,99 kg de metais ferrosos, 1,01 kg de PCIs (placa mãe), 0,003 kg de materiais considerados perigosos (bateria), 0,321 kg de fios e cabos e 2,26 kg de outros materiais.

Moraz (2006) relata que o gabinete é composto de fonte de alimentação, placa mãe, processador, placas de circuito impresso, unidade de disquete, unidade de CD-ROM, disco rígido ou HD, dentre outros. O gabinete é de estrutura metálica, possui características importantes, não só pela sua arquitetura estética, mas também por suas propriedades para redução de ruído eletromagnético, além de fatores com relação à circulação de ar internamente, as quais são importantes na refrigeração das placas de circuito impresso (PCIs) e outros dispositivos contidos em seu interior. O Quadro 2 apresenta as características dos principais componentes de um gabinete, bem como as definições apontadas pelo autor.

Quadro 2 – Principais componentes de um gabinete de microcomputador de mesa

Componente	Características
Fonte de alimentação	Localizada dentro do gabinete é responsável por alimentar todos os componentes internos, transforma a corrente elétrica alternada em corrente contínua, necessária para o funcionamento do sistema. Possui um ventilador interno para dissipação do calor, o qual retira o ar quente de dentro do gabinete. Componente de vida útil limitada é um dos primeiros a apresentar defeito.
Placa-mãe	Também chamada de placa de CPU. É uma placa de circuito impresso (PCI) em que um conjunto de <i>chips</i> define as características não apenas dos componentes em si, mas também de várias especificações de desempenho do microcomputador. O processador, os pentes de memória, as placas de áudio, vídeo, rede e outras, são instalados na placa mãe, por meio dos conectores chamados <i>slots</i> .
Cabos flat IDE	As placas-mãe são acompanhadas de cabos <i>flat</i> IDE. Em cada cabo existe um conector que é conectado na placa-mãe.
Processador	Também denominado Central Única de Processamento (CPU) é o principal componente instalado na placa-mãe. É componente eletrônico digital programável constituído por uma unidade de processamento em um circuito integrado do semicondutor. É considerado o “coração do sistema” e o responsável pelo gerenciamento e tráfego das informações.
Memória RAM	É a principal memória de um microcomputador, onde são executados os programas e processados os dados. Para que o processador possa trabalhar com os programas e dados, os quais residem no disco rígido, antes devem ser copiados para a memória RAM. Permite leituras e escritas, mas trata-se de uma memória volátil, pois apaga os dados quando o microcomputador é desligado.
Disco rígido ou HD	O disco rígido armazena programas e dados mesmo quando o microcomputador está desligado. É um dos componentes mais importantes de um micro. Dentro dele encontra-se o disco que gira em elevada rotação, onde são gravados os dados. Os discos são geralmente feitos de alumínio cobertos por um material magnético.
Placa de vídeo	É uma placa de circuito impresso, possuem <i>chips</i> de memória onde ficam representadas as imagens que vemos na tela do monitor.
Drive de disquetes	Instalado no gabinete na parte frontal, existe uma porta que dá acesso à bandeja, na qual é colocado o disquete. É conectado a placa mãe por meio de cabos IDEs.
Drive de CD-ROM	Instalado no gabinete, na parte frontal, existe uma porta que dá acesso à bandeja, na qual é colocado o <i>Compact Disc</i> (CD). É conectado a placa mãe por meio de cabos IDEs.

Fonte: Adaptado de Moraz (2006).

O padrão de gabinete mais utilizado atualmente é o *Advanced Technology Extended* (ATX). Seus modelos são ATX, ATX minitorre, ATX torre média e ATX torre grande, todos utilizados na posição vertical e o ATX desktop utilizado na posição horizontal.

2.2 RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS (REEE)

Segundo a ABNT (2013, p. 6) na ABNT [NBR 16156:2013](#) - Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos – requisitos para atividade de manufatura reversa, os REEE são definidos como “equipamentos elétricos e eletrônicos, partes e peças que chegaram ao fim da sua vida útil ou o uso foi interrompido.” Já a definição para REEE perigosos segundo a mesma NBR é a seguinte: resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos perigosos são aqueles cuja composição é desconhecida por causa de suas propriedades físicas ou químicas e podem oferecer: a) risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices; b) riscos para o meio ambiente, quando os resíduos são destinados inadequadamente. Também são aqueles constituídos ou derivados no todo ou em parte, de substâncias, produtos químicos ou grupos classificados como perigosos de acordo com a ABNT NBR 10004:2004 e banco de dados da ABNT NBR IEC 62474:2012 - Declaração de material para equipamentos eletroeletrônicos, ou assim classificados por outros regulamentos (ABNT, 2013).

A Diretiva Europeia 2012/19/UE define os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) como:

equipamentos elétricos e eletrônicos que constituem resíduos, na seção do artigo 3º, ponto 1, da Diretiva 2008/98/CE, incluindo todos os componentes, subconjuntos e materiais consumíveis que fazem parte integrante do produto no momento em que este é descartado (UNIÃO EUROPEIA, 2012, p. 6).

Ainda de acordo com a referida Diretiva, os REEE são classificados como provenientes de particulares e provenientes de não particulares. Os provenientes de particulares são aqueles originários do setor doméstico, ou de fontes comerciais, industriais, institucionais e de outras que, pela sua natureza e quantidade, sejam semelhantes aos REEE derivados do setor doméstico. Os provenientes de não particulares são os originados de fontes comerciais, industriais, institucionais e de outras.

Segundo Bigum, Brogaard e Christensen (2012) os REEE são considerados como um dos fluxos de resíduos que mais crescem na Europa. Huisman et al. (2008) relata que a geração de REEE na UE em 1998 era menos de 6 milhões de toneladas, em 2005 estava entre

8,3 e 9,1 milhões de toneladas, aumento este, devido à expansão da UE de 15 para 27 países-membros. Até 2020 a previsão é um aumento anual de 2,5% a 2,7%, o qual poderá atingir 12,3 milhões de toneladas.

Os Estados Unidos e outras nações desenvolvidas utilizam a maioria dos produtos eletrônicos do mundo e geram a maior parte dos REEE do planeta. É visto na exportação uma maneira oportuna de transferir a problemática dos seus REEE para países pobres e em desenvolvimento, tais como a Ásia e África.

A China tornou-se o maior receptor de REEE do mundo, recebe anualmente mais de 70% de todo REEE produzido no planeta. Essa quantidade aumenta a uma taxa de 5 a 10% ao ano. Estima-se que cerca de 50% a 80% dos REEE gerados nos EUA são enviados para países como a Índia e China. A China tornou-se receptora de 90% desse total. Esses países na maioria das vezes não fazem a destinação correta desses resíduos, utilizam métodos insalubres de reciclagem, como a queima a céu aberto, sem qualquer preocupação com a saúde das pessoas e do meio ambiente (HUANG, GUO e XU, 2009).

A cidade de Lagos na Nigéria/África representa o maior polo receptor de REEE do país, recebe cerca de 500 contêineres por mês desses resíduos. Estima-se que 45% desse material vêm da Europa, 45% dos EUA e 10% de outros países. Países como Bélgica, Finlândia, Alemanha, Itália (dentre outros países da UE), Israel, Japão e EUA exportam seus REEE para esta cidade. A justificativa dada para esse tipo de exportação é a doação para reuso, com o objetivo de pagar uma dívida digital existente com os países pobres (PUCKETT et al., 2005).

Para evitar a migração de resíduos perigosos, principalmente dos países desenvolvidos para os em desenvolvimento, foi criada em 1992 a regulação da Convenção de Basiléia, que trata sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos. É um acordo internacional que conta atualmente com a participação de 181 países. Todos os países da UE aderiram a Convenção de Basiléia. O tratado conta inclusive com a assinatura dos Estados Unidos da América (EUA) a qual ocorreu em 22/03/1990, mas o país não aderiu à convenção até hoje. (BASEL CONVENTION, 2014a).

2.2.1 Resíduos de computadores

Das Virgens (2009) classifica os resíduos de computadores conforme sua origem em:

- Resíduos domésticos: compostos por resíduos de microcomputadores pós-consumo gerados pela utilização doméstica. Nesse grupo estão incluídos todos os microcomputadores;
- Resíduos corporativos: resíduos de computadores pós-consumo gerados por empresas, governo, indústrias, etc. Nesse grupo também estão incluídos os microcomputadores e os com características diferentes dos usados por utilizadores domésticos, por terem porte médio, grande ou excepcional e possuir diferentes constituintes;
- Resíduos órfãos: são aqueles onde não se consegue identificar o fabricante, nesse grupo, estão incluídos os resíduos dos computadores vendidos no mercado não oficial ou no mercado cinza;
- Resíduos históricos: composto por resíduos de computadores pós-consumo gerados antes da promulgação de leis que regulamentam a gestão desses resíduos nos países.

Estima-se que consumidores dos EUA têm em média de dois a três microcomputadores obsoletos armazenados em casa. Três quartos ($\frac{3}{4}$) de todos os microcomputadores vendidos nos EUA permanecem armazenados, no aguardo de reutilização, reciclagem ou destinação. Especialistas estimam que mais de 500 milhões de computadores se tornaram obsoletos nos EUA entre os anos de 1997 e 2007 (UNEP, 2005).

Dos 500 contêineres de REEE recebidos mensalmente na cidade de Lagos, estima-se que cada contêiner contém aproximadamente 800 microcomputadores, o qual chega a 400.000 unidades mensais. Desta quantia, aproximadamente 75% é sucata sem possibilidade de reaproveitamento (PUCKETT et al., 2005).

Segundo Schluep et al. (2009) a quantidade de resíduos de microcomputadores gerada (em kg/hab.ano) nos países em desenvolvimento é semelhante à quantidade de micros colocada no mercado. A Tabela 2 apresenta a quantidade de resíduos de máquinas gerada nos anos de 2005 a 2007 nesses países.

Tabela 2 – Quantidade de resíduos de microcomputadores gerada entre os anos de 2006 a 2008 (kg/hab.ano).

Resíduos de microcomputadores			Resíduos de microcomputadores		
Local	Ano	kg/hab.ano	Local	Ano	kg/hab.ano
Brasil	2005	0,50	Colômbia	2006	0,14
México	2006	0,46	Senegal	2007	0,08
Marrocos	2007	0,45	Kenia	2007	0,07
África do Sul	2007	0,41	Índia	2007	0,06
China	2007	0,23	Uganda	2007	0,05
Peru	2006	0,21			

Fonte: Adaptado de Schluep et al. (2009).

Pode-se perceber que entre os países citados, o Brasil é o que mais produziu resíduos de microcomputadores, com mais de 0,5 kg/hab.ano em 2005. África do Sul, México e Marrocos também possuem um grande parque de micros instalados, onde gerou-se em torno de 0,4 a 0,5 kg/hab.ano desse tipo de REEE. China e Peru produziram quase a mesma quantidade de resíduo eletrônico de micros (cerca de 0,2 kg/hab.ano) enquanto Kenya, Uganda, Senegal, Colômbia e Índia produziram quantidades inferiores a 0,15 kg/hab.ano (SCHLUEP et al., 2009). Araújo et al. (2012) estimam a geração de resíduos de microcomputadores no Brasil em 0,56 kg/hab.ano em 2008, número esse, próximo ao encontrado por Schluep et al. (2009) para o Brasil (Tabela 2).

Existe uma tendência de aumento na geração de resíduos de microcomputadores até o ano de 2020, principalmente nos países onde ainda há pouca inserção de micros, tais como Uganda, Senegal e Índia. Em Uganda o aumento da geração está estimado em 6 a 8 vezes com relação ao gerado em 2005. No Senegal estima-se um aumento de 4 a 8 vezes e na Índia a estimativa fica em torno de 5 vezes. Na África do Sul e China, estima-se que o fluxo de resíduos de microcomputadores aumentará em 2 a 4 vezes até o ano de 2020 (SCHLUEP et al., 2009).

2.3 ASPECTOS LEGAIS AMBIENTAIS E OS REEE

O desenvolvimento é necessário e segundo a Constituição Federal do Brasil em seu artigo 170 é reservado o direito de desenvolvimento econômico, desde que respeite o meio ambiente:

Art. 170 - A ordem econômica, fundada na valorização do trabalho humano e na livre iniciativa, tem por fim assegurar a todos existência digna, conforme os ditames da justiça social, observados os seguintes princípios: VI - defesa do meio ambiente, inclusive mediante tratamento diferenciado conforme o impacto ambiental dos produtos e serviços e de seus processos de elaboração e prestação (BRASIL, 1988, p. 32-33).

Ainda segundo a Constituição, o artigo 225 aborda o direito do cidadão com relação ao meio ambiente em que vive:

Art. 225 - Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988, p. 39).

2.3.1 Aspectos legais relevantes relacionadas aos REEE em nível internacional

As políticas e legislações internacionais relacionadas aos REEE existem desde o final da década de 80. A Convenção de Basileia é uma das pioneiras nesse assunto. Basicamente todas as legislações existentes estão baseadas nessa Convenção e nas Diretivas Europeias 2002/95/EC e 2002/96/EC. Estas legislações foram a base para a criação da maioria das leis e regulamentos ambientais com relação aos REEE que estão em vigor no mundo.

De acordo com o estudo de Lischeski (2011) existem 69 legislações, políticas e outros documentos legais no mundo, que referenciam resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos. A Europa é o continente com maior número de documentos legais que relacionam o tema, com 35 documentos vigentes em 28 países. O continente americano (norte, sul e central) conta com 14 legislações em 7 países. A Ásia possui 17 legislações distribuídas em 7 países e a África e Oceania possui 1 país com 1 legislação cada. O Quadro 3 apresenta algumas políticas e legislações internacionais relacionadas com o tema.

Quadro 3 – Aspectos legais internacionais relacionadas com REEE

Local	Aspecto Legal	Disposição
Âmbito mundial	Convenção de Basileia de 22/03/1989	De âmbito mundial, entrou em vigor em 05/05/1992. É o mais relevante acordo internacional existente. Trata do controle de movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos (BASEL CONVENTION, 2014b).
Japão	Home Appliance Recycling Law de 06/1988	Lei do Japão, vigente desde Abril de 2001. A lei determina um sistema de recolhimento e reciclagem em que os varejistas de eletrodomésticos se encarregam de recolher os eletrodomésticos usados e os fabricantes se encarregam de reciclar os aparelhos coletados. (JAPÃO, 2014). A Lei não menciona a reciclagem de computadores ou telefones celulares.
China	China RoHS de 26/02/2006	A Lei entrou em vigor em Março de 2007. Determina que importadores, distribuidores e fabricantes, sejam obrigados a colocar rótulos em produtos que estão dentro do escopo da lei e produzir tabelas de informações onde for necessário (PREMIER FARNELL, 2009).
Comunidade Europeia	Regulamento EC nº 1907/2006 de 18/12/2006	Relativo ao registo, avaliação, autorização e restrição dos produtos químicos (REACH), que cria a Agência Europeia dos Produtos Químicos (UNIÃO EUROPEIA, 2006).
Comunidade Europeia	Diretiva 2011/65/UE de 08/06/2011 (RoHS)	(Reformula a Diretiva 2002/95/EC de 27/01/2003 (RoHS)). Relativa à restrição do uso de determinadas substâncias perigosas em equipamentos elétricos e Eletrônicos (UNIÃO EUROPEIA, 2011).
Comunidade Europeia	Diretiva 2012/19/UE de 04/07/2012	(Reformula a Diretiva 2002/96/EC de 27/01/2003, revogada em 15/02/2014). Relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) (UNIÃO EUROPEIA, 2012).
África do Sul	-	Na África do Sul existe uma iniciativa de âmbito nacional relacionada com a reciclagem dos REEE, a <i>e-Waste Association of South Africa</i> (eWASA), a qual foi criada 2008 para gerir o estabelecimento de um sistema de gestão sustentável do lixo eletrônico no país (eWASA, 2014).
Canadá	-	No Canadá existem princípios para gestão de produtos eletrônicos, criados em 2004. Visam apoiar as jurisdições no desenvolvimento de programas de lixo eletrônico (REDEMTECH, 2014a e CCME, 2014).
EUA	-	As legislações são a níveis estaduais. São 26 os estados americanos que tratam do assunto dos 51 existentes e 1 município (Nova York) (REDEMTECH, 2014b e ERCC, 2014).

2.3.1.1 Diretiva 2011/65/UE do Parlamento Europeu e do Conselho

A Diretiva 2011/65/UE de 08/06/2011 reformula a Diretiva 2002/95/EC, de 27/01/2003 (que entrou em vigor em 2006). A referida Diretiva trata da restrição do uso de determinadas substâncias perigosas em equipamentos eletroeletrônicos. É o Regulamento Europeu mais específico para o setor eletroeletrônico, também conhecido como Diretiva RoHS (*Restriction of Hazardous Substances*).

Nesta Diretiva, no seu Artigo 4º, os Estados-Membros asseguram que os EEE colocados no mercado, não contenham as seguintes substâncias: chumbo (Pb), mercúrio (Hg), cádmio (Cd), cromo hexavalente (Cr⁺⁶), bifenilas polibromadas (PBB) e éteres difenílicos polibromados (BDE). É tolerada uma concentração ponderal máxima, nos materiais

homogêneos, não superior aos valores especificados no anexo II que são: Pb (0,1%), Hg (0,1%), Cd (0,01%), Cr⁺⁶ (0,1%), PBB (0,1%) e PBDE (0,1%). No Anexo III da referida Diretiva, constam as aplicações isentas das restrições previstas no n° 1 do Artigo 4° (UNIÃO EUROPEIA, 2011).

Ainda no âmbito dessa Diretiva, a forma mais eficaz de garantir uma redução significativa dos riscos para o meio ambiente e para a saúde é a substituição das substâncias perigosas citadas na produção de EEE. A restrição de tais substâncias melhora a possibilidade de reciclagem dos resíduos desses equipamentos, a qual reduz o impacto negativo sobre a saúde dos trabalhadores da área de reciclagem.

As substâncias previstas na Diretiva foram estudadas e avaliadas por meio de informações científicas, onde se levou em conta orientações e recomendações internacionais. As medidas basearam-se na necessidade de proteção da saúde humana, animal e ambiental. Foi denominada como prevenção, a medida destinada a reduzir a quantidade e a nocividade dos REEE para o ambiente, seus materiais e substâncias (UNIÃO EUROPEIA, 2011).

2.3.1.2 Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho

A Diretiva 2012/19/UE de 04/07/2012 reformula a Diretiva 2002/96/EC, de 27/01/2003 (que entrou em vigor em 2006 e foi revogada em 15/02/2014). A referida Diretiva é relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE). A Diretiva tem por objetivo contribuir para produção e consumo sustentáveis mediante, prioritariamente, a prevenção da geração de REEE e, adicionalmente, por meio da reutilização, reciclagem e outras formas de valorização desses resíduos (UNIÃO EUROPEIA, 2012).

A referida Diretiva visa reduzir a quantidade de resíduos, eliminar e contribuir para a utilização eficiente dos recursos e a recuperação de matérias-primas secundárias valiosas. No Artigo 4° da referida Diretiva, consta a hierarquia dos resíduos, a qual é aplicável na política de prevenção e gestão dos resíduos: a) prevenção e redução; b) preparação para a reutilização; c) reciclagem; d) outros tipos de valorização (por exemplo, a valorização energética) e; e) eliminação. Quando admissível, a reutilização dos REEE e seus componentes deverá ser prioritária, quando isso não for possível, a valorização será a alternativa mais adequada (UNIÃO EUROPEIA, 2012).

Segundo a União Europeia (2008, p. 8) na Diretiva Europeia 2008/98/CE, a reutilização é definida como “qualquer operação mediante a qual produtos ou componentes

que não sejam resíduos são utilizados novamente para o mesmo fim para que foram concebidos”. A valorização define-se por:

qualquer operação cujo resultado principal seja a transformação dos resíduos de modo a servirem um fim útil, substituindo outros materiais que, caso contrário, teriam sido utilizados para um fim específico, ou a preparação dos resíduos para esse fim, na instalação ou no conjunto da economia. UNIÃO EUROPÉIA, 2008, p. 8)

A valorização dos REEE pode ser por meio de vários métodos, os quais não devem por em perigo a saúde humana e nem utilizar processos ou métodos que possam prejudicar o meio ambiente. O Quadro 4 apresenta os métodos de valorização de REEE estipulados pela Diretiva Europeia 2008/98/CE, contidos em seu Anexo II.

Quadro 4 – Métodos de valorização de REEE segundo a Diretiva Europeia 2008/98/EC

Tipo	Método de valorização
R1	Utilização principal como combustível ou outro meio de produção de energia.
R2	Recuperação/regeneração de solventes.
R3	Reciclagem/recuperação de substâncias orgânicas não utilizadas como solventes (incluindo compostagem e outros processos de transformação biológica).
R4	Reciclagem/recuperação de metais e compostos metálicos.
R5	Reciclagem/recuperação de outros materiais inorgânicos.
R6	Regeneração de ácidos ou bases.
R7	Valorização de componentes utilizados na redução da poluição.
R8	Valorização de componentes de catalisadores.
R9	Refinação de óleos e outras reutilizações de óleos.
R10	Tratamento do solo para benefício agrícola ou melhoramento ambiental.
R11	Utilização de resíduos obtidos a partir de qualquer uma das operações enumeradas de R 1 a R 10.
R12	Troca de resíduos com vista a submetê-los a uma das operações enumeradas de R 1 a R 11.
R13	Armazenamento de resíduos destinados a uma das operações enumeradas de R 1 a R 12 (com exclusão do armazenamento temporário, antes da recolha, no local onde os resíduos foram produzidos).

Fonte: União Europeia (2008).

Segundo a Diretiva 2012/19/UE, a valorização se dá por meio de objetivos mínimos de valorização, que variam conforme a categoria que o REEE pertence. O proposto no Artigo 11º, item 1, diz que devem ser atingidos os objetivos mínimos de reciclagem conforme o Anexo V. Tal Anexo cita que relativamente aos REEE pertencentes à categoria 3, 65% dos materiais, componentes ou substâncias devem ser reciclados até o prazo de 14/08/2015.

O cumprimento dos objetivos é calculado, para cada categoria, onde divide-se o peso dos REEE que entram nas instalações de valorização ou de reciclagem/preparação para a reutilização (após terem sido devidamente tratados nos termos do Artigo 8º, item 2, no que diz respeito à valorização ou reciclagem), pelo peso de todos os REEE recolhidos seletivamente,

para cada categoria, expresso em porcentagem. (UNIÃO EUROPEIA, 2012). A Tabela 3 apresenta os objetivos mínimos de valorização conforme cada categoria de REEE.

Tabela 3 – Objetivos mínimos de valorização de REEE estipulados pela Diretiva Europeia 2012/19/UE.

Categoria de REEE	Objetivos mínimos aplicáveis, por categoria, no período compreendido	
	13/08/2012 a 14/08/2015 (Anexo I)	15/08/2015 a 14/08/2018 (Anexo I)
1 e 10	80 % devem ser valorizados.	85 % devem ser valorizados.
	75 % devem ser reciclados.	80 % devem ser preparados para a reutilização e reciclados.
3 e 4	75 % devem ser valorizados.	80 % devem ser valorizados.
	65 % devem ser reciclados.	70 % devem ser preparados para a reutilização e reciclados.
2, 5, 6, 7,	70 % devem ser valorizados.	75 % devem ser valorizados.
8 e 9	50 % devem ser reciclados.	55 % devem ser preparados para a reutilização e reciclados.

Fonte: União Europeia (2012).

Segundo Lischeski (2011) são poucos os países que possuem legislações que consideram a gestão dos REEE, com avaliação de todo o seu ciclo de vida. Enquanto alguns países tendem para a redução da geração do REEE, outros levam em conta a disposição final, bem como a logística reversa. Outra situação verificada pela autora é que algumas legislações são específicas para certos tipos de REEE, tais como computadores.

2.3.2 Aspectos legais relacionados aos REEE em nível nacional

A legislação ambiental é um dos mais poderosos instrumentos colocados à disposição da sociedade, pois é por meio dela que se faz valer o direito constitucional assegurado a todo cidadão brasileiro. Brasil (1988) na Constituição Federal estabelece no Artigo 23, inciso VI, que compete à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer das suas formas. No Artigo 24, estabelece a competência da União, dos Estados e do Distrito Federal em legislar concorrentemente sobre a proteção do meio ambiente e controle da poluição, inciso VI. O Artigo 30, incisos I e II, estabelece que cabe ao município legislar sobre os assuntos de interesse local e suplementar a legislação federal e a estadual no que couber.

Qualquer setor da economia necessita de regras para funcionar adequadamente. Essas regras versam sobre diversos temas do setor e seus segmentos e podem ser de vários níveis de elaboração, aplicação e vigência. Com o setor de resíduos sólidos não é diferente, as regras são imprescindíveis para sua disciplina. Até o mês de agosto de 2010, não existia legislação de âmbito nacional que regulamentasse o setor de resíduos sólidos no país. A partir dessa data, instituiu-se a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que direciona a gestão de resíduos no Brasil, dentre eles os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos.

2.3.2.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos

Lei Federal n.º 12305, de 02/08/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Foi aprovada pela Câmara dos Deputados em 10/03/2010 e direcionada para o Senado Federal onde foi aprovada em 07/07/2010. Foi sancionada em 02/08/2010 e em 23/12/2010 o Decreto Federal n.º 7404 regulamentou a PNRS (BRASIL, 2010). A tramitação dessa política levou duas décadas no Congresso Nacional.

Nessa lei a empresa geradora de resíduos sólidos é responsável pela não geração, redução, reutilização e tratamento desses resíduos, bem como a destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos. Compete ao gerador de resíduos sólidos a responsabilidade pelos resíduos gerados, o qual compreende as etapas de acondicionamento, disponibilização para coleta, tratamento e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos. Somente cessará a responsabilidade do gerador, quando estes resíduos forem reaproveitados em produtos, na forma de novos insumos, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos (BRASIL, 2010).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos é a única Lei a nível federal que trata de REEE no país. A estruturação dessa Lei vem a auxiliar o país e os estados a gerir um dos maiores desafios a ser encarados pelos governos e pela sociedade brasileira, que é o crescente volume gerado de REEE, dentre outros. Não existem atualmente outros aspectos legais a nível nacional que tratam de REEE no Brasil além da PNRS. Os existentes referem-se aos resíduos perigosos em geral, onde os resíduos eletrônicos se enquadram.

A legislação brasileira ainda é inexpressiva para atender a demanda da sociedade, principalmente no que diz respeito ao gerenciamento dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos. Nos últimos anos o poder aquisitivo das classes C e D aumentou, devido às medidas governamentais que incentivam ao consumo, a redução de juros, a redução de impostos e as ofertas de crédito. A cada geração tecnológica, estes bens de consumo aumentam a quantidade de componentes na sua produção, com prazos de decomposição cada vez mais longos na natureza, os quais impactam mais o meio ambiente (CERETTA, DA ROCHA e ISRAEL, 2012). O Quadro 5 apresenta algumas legislações que tratam de resíduos perigosos e REEE no Brasil.

Quadro 5 – Legislações que tratam de resíduos perigosos e REEE no Brasil.

Legislação	Número/Data	Nível	Disposição
Lei	Nº. 12.305 Agosto/2010	Federal	Brasil. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. (BRASIL, 2010).
Decreto	Nº. 875 Julho/1993	Federal	Brasil. Promulga o texto da Convenção de Basiléia sobre o controle de movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos e seu depósito (BRASIL, 1993).
Decreto	Nº. 4.581 Janeiro/2003	Federal	Brasil. Promulga a emenda ao anexo I e adoção dos anexos VIII e IX à Convenção de Basiléia sobre o controle do movimento transfronteiriço de resíduos perigosos e seu depósito (BRASIL, 2003).
Decreto	Nº. 7.404 Dezembro/2010	Federal	Brasil. Regulamenta a PNRS (BRASIL, 2010).
Resolução CONAMA	Nº. 452 2012	Federal	Brasil. Dispõe sobre os procedimentos de controle da importação de resíduos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basiléia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito (BRASIL, 2012).
Lei	Nº. 12.008 Junho/2001	Estadual	Pernambuco. Determina que os componentes eletroeletrônicos sejam considerados resíduos especiais e necessitam de cuidados especiais em seu acondicionamento, coleta, transporte, manipulação e disposição final (PERNAMBUCO, 2001).
Lei	Nº. 13.576 Julho/2009	Estadual	São Paulo. Institui normas e procedimentos para a reciclagem, gerenciamento e destinação final de lixo tecnológico (JUSBRASIL, 2009).
Decreto	Nº. 45.554 Março/2008	Estadual	Rio Grande do Sul. Dispõe sobre o descarte e destinação final de pilhas que contenham mercúrio metálico, lâmpadas fluorescentes, baterias de telefone celular e demais artefatos que contenham metais pesados no Estado do Rio Grande do Sul. Nesta Lei, placas de computador e afins são consideradas resíduos sólidos de pós-consumo (RIO GRANDE DO SUL, 2008).
Lei	Nº. 11.384 Dezembro/2012	Municipal	Porto Alegre. Estabelece regras para a destinação final ambientalmente adequada do lixo eletrônico produzido no município de Porto Alegre (RIO GRANDE DO SUL, 2012).

2.3.3 Normas ambientais sobre resíduos sólidos

A série de normas da ABNT, NBRs da série 10000 de 1987, foi ratificada pelas legislações federais, estaduais e municipais como instrumento para classificação de resíduos sólidos e para tomada de decisões sobre as formas adequadas de seu manejo, tratamento e destinação. Em 2004, após aprofundamento de estudos e elaboração de revisões e após circulação para consulta pública, a série de normas de 1987 foi reformulada, onde em 2004 foi publicada uma nova série.

A ABNT NBR 10004 de 31/05/2004 trata da classificação dos resíduos sólidos. A classificação dos resíduos sólidos envolve a identificação de todo o processo produtivo ou a atividade que lhe deu origem. Devem-se identificar todas as características e constituintes desses, para após, buscar nos anexos desta NBR a comparação com substâncias que possam causar impacto ao meio ambiente e a saúde das pessoas. Fazer uma criteriosa identificação é importante, a fim de caracterizar corretamente os resíduos gerados nos processos.

Os resíduos sólidos são classificados de acordo com o seu risco em relação ao homem e ao meio ambiente, os quais podem ser perigosos ou não perigosos. Esta norma define resíduos perigosos como àqueles que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, pode apresentar periculosidade conforme o definido no item 3.2: a) risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices, e; b) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.

Ainda segundo a NBR 10004:2004, resíduos Classe I (perigoso), são aqueles que estão contidos no **Anexo A** (resíduos perigosos de fontes não específicas), ou no **Anexo B** (resíduos perigosos de fontes específicas), ou aqueles que apresentem uma das características descritas nos itens 4.2.1.1 – inflamabilidade, 4.2.1.2 – corrosividade, 4.2.1.3 – reatividade, 4.2.1.4 – toxicidade e 4.2.1.5 – patogenicidade. A classificação segundo o item 4.2.1.4 – toxicidade, envolve a comparação dos elementos/substâncias químicas constituintes dos resíduos, com as listagens de substâncias constantes no **Anexo C** (substâncias que conferem periculosidade aos resíduos), no **Anexo D** (substâncias agudamente tóxicas) e no **Anexo E** (substâncias tóxicas). Substâncias essas, cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. No **Anexo F** (concentração – limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação) é apresentado os limites máximos permitidos nos ensaio de lixiviação.

Se o resíduo não se enquadrar em nenhuma das características descritas acima, ele é classificado como Classe II (não perigoso). Para ser classificado como Classe II A (não inerte), o resíduo deve apresentar constituintes que são solubilizados em concentrações superiores ao **Anexo G** (padrões para o ensaio de solubilização) da ABNT NBR 10004:2004. O resíduo Classe II A (não inerte) pode ter propriedades que são: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. É classificado como Classe II B (inerte), o resíduo que não se enquadra em nenhum dos casos anteriores. A natureza física de um resíduo pode ser líquida, pastosa ou sólida e a composição química deste, pode ser matéria orgânica ou matéria inorgânica (ABNT, 2004a).

A ABNT NBR 10005 de 31/05/2004 trata dos procedimentos para obtenção de extrato de lixiviado de resíduos sólidos. Esta norma fixa os requisitos exigíveis para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, o qual visa diferenciar os resíduos classificados pela ABNT NBR 10004:2004 como Classe I (perigoso) e Classe II (não perigoso) (ABNT, 2004b).

A ABNT NBR 10006 de 31/05/2004 trata dos procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Esta norma fixa os requisitos exigíveis para obtenção

de extrato solubilizado de resíduos sólidos, o qual visa diferenciar os resíduos classificados na ABNT NBR 10004:2004 como resíduos não perigosos Classe II A (não inerte) e Classe II B (inerte). Esta norma não se aplica aos resíduos no estado líquido (ABNT, 2004c).

A ABNT NBR 10007 de 31/05/2004 fixa os requisitos exigíveis para amostragem de resíduos sólidos. O objetivo da amostragem é a coleta de uma quantidade representativa de resíduo, o qual visa determinar suas características quanto à classificação, métodos de tratamento, etc. Estabelece as linhas básicas que devem ser observadas, antes de se retirar qualquer amostra, com o objetivo de definir o plano de amostragem (objetivo da amostragem, número e tipo de amostras, amostradores, local de amostragem, frascos e preservação da amostra) (ABNT, 2004d).

2.3.3.1 Normas ambientais sobre REEE

Atualmente existe no Brasil a ABNT NBR 16156:2013 - Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos – Requisitos para atividade de manufatura reversa, que trata exclusivamente de REEE. Esta norma estabelece requisitos para proteção e controle de riscos relacionados à saúde e segurança do trabalho, bem como os riscos ambientais em atividades de manufatura reversa de REEE. Segundo a norma, manufatura reversa é definida como “etapas de atividades de reciclagem que incluem processos de transformação de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos em partes e peças, insumos ou matéria prima sem obtenção de novos produtos” (ABNT, 2013, p. 3).

De acordo com Ewald e Moraes (2013) a NBR 16156:2013 está dividida em quatro pilares, que são: a proteção ao meio ambiente, à saúde e segurança dos trabalhadores, a rastreabilidade dos REEE e a segurança dos dados. É aplicável as organizações que realizam atividades de manufatura reversa de resíduos eletroeletrônicos como atividade fim. A norma foi elaborada por meio de bases normativas nacionais e internacionais, onde a principal base normativa é a NBR ISO 14001:2004 Sistemas de Gestão Ambiental – Requisitos e orientações para o uso. A utilização de tal norma como base, deu-se pelo fato que ela possui a estrutura de um sistema de gestão, o qual possibilita a premissa da NBR 16156:2013 ser uma norma passível de certificação.

A NBR 16156:2013 teve também como referência a norma ABNT NBR IEC 62474:2012 - Declaração de material para equipamentos eletroeletrônicos (onde é especificado o procedimento que relaciona a declaração de materiais para produtos de empresas que operam e fornecem para a indústria eletroeletrônica) e a *International*

Electrotechnical Commission (IEC) 62474:2012 - Material Declaration for Products of and for the Electrotechnical Industry. O IEC 62474:2012 é um banco de dados para consulta e fornece um padrão internacional para o intercâmbio de dados de composição de materiais e exigências de declarações materiais.

2.4 RECICLAGEM DE COMPUTADORES

Inicia-se o capítulo de reciclagem de computadores com alguns conceitos necessários sobre o tema, os quais são definidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos. De acordo com Brasil (2010, p. 1) o “ciclo de vida do produto é uma série de etapas que envolve o desenvolvimento do produto, a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final”.

Define-se resíduo sólido como:

material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010, p. 2).

Rejeitos têm o seguinte significado:

resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010, p. 2).

A reciclagem é definida como:

processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do SISNAMA e, se couber, do SNVS e do SUASA (BRASIL, 2010, p. 2).

E disposição final ambientalmente adequada tem a definição de:

distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010, p. 2).

Não há definição para tratamento de REEE na PNRS. A *Secretariat of the Basel Convention* (SBC) define tratamento como:

qualquer atividade física, química ou mecânica em uma unidade que processa equipamentos de informática, incluindo a desmontagem, remoção de componentes perigosos, recuperação de materiais, reciclagem ou preparação para a eliminação (SBC, 2011, p. 8).

2.4.1 O ciclo de vida dos computadores

Um computador torna-se resíduo quando termina sua vida útil, quebra algum componente essencial para o seu funcionamento, se torna obsoleto ou quando não atende mais a demanda do seu utilizador (DAS VIRGENS, 2009). Alguns microcomputadores no fim de sua vida útil ainda são considerados utilizáveis, ou contém componentes que podem ser reutilizados. De acordo com a OECD (2003) um micro torna-se obsoleto antes de perder sua capacidade de realizar todas as funções essenciais. Existem três opções para os microcomputadores terem uma segunda vida útil: a) reuso direto: quando é utilizado por outra pessoa sem qualquer alteração; b) remodelagem e reuso: quando é reformado ou atualizado, para após ser reutilizado por outra pessoa; e, c) reutilização dos componentes: quando é desmontado e seus componentes são reutilizados em outros computadores. A Figura 3 apresenta o ciclo de vida de um microcomputador.

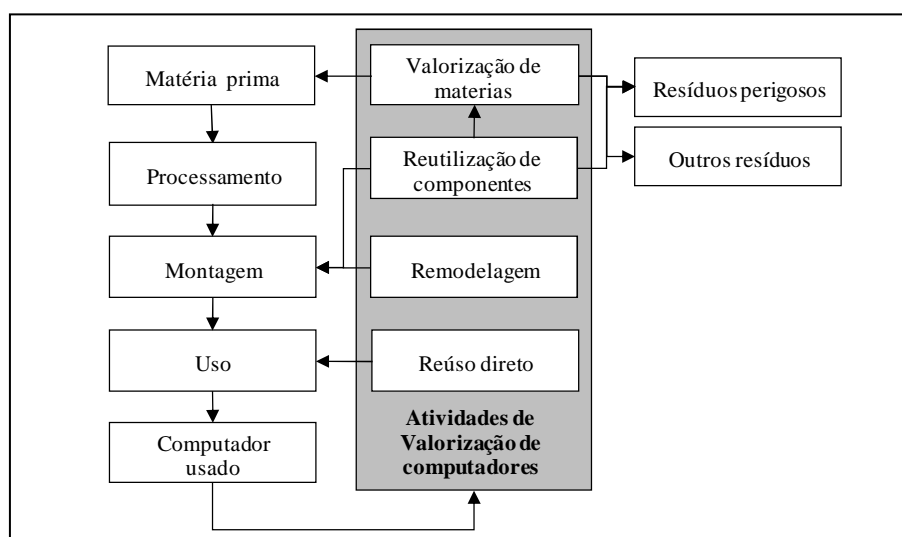


Figura 3 – Ciclo de vida de um microcomputador.

Fonte: Adaptado de OECD (2003).

Computadores contêm materiais valiosos e componentes que são tecnicamente recicláveis (MARKLEY, 2001; CROWE et al., 2003; FRANCO, 2008; VARIN e ROINAT,

2008; SBC 2011; SCHLUEP et al., 2012). A reciclagem de computadores é uma alternativa sustentável para minimizar o problema do descarte desse tipo de REEE. Segundo o professor Júlio Carlos Afonso da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ):

94% dos componentes dos computadores podem ser reciclados, podendo ser recuperados por desmonte e segregação dos componentes principais. Os 6% não recicláveis, segundo ele, correspondem a componentes que contêm uma grande junção de materiais de natureza química e física bastante diversa (metais, polímeros, soldas, resinas), como no caso dos circuitos impressos, que dificultam o reaproveitamento. O maior desafio é tratar os 6% dos materiais hoje reconhecidamente não recicláveis, por não existirem rotas economicamente viáveis de processamento de um material resultante de uma mistura tão complexa de elementos (PALLONE, 2008, p. 3).

Um dos maiores problemas encontrados na reciclagem de computadores é a falta de incentivos e infraestrutura de coleta, reciclagem, bem como o alto custo da coleta de material, manuseio e processamento. A presença de produtos químicos perigosos faz com que a reciclagem de computadores seja especialmente perigosa para os trabalhadores, bem como para o meio ambiente (MARKLEY, 2001; VARIN e ROINAT, 2008).

A reciclagem dos materiais e componentes de computadores, quando devidamente implementada, representa o método mais seguro e com a estratégia de custo mais eficaz para resolver o problema dos computadores obsoletos. A reciclagem visa remover, reduzir e tratar os componentes perigosos, conservar recursos naturais, reduzir ameaças à saúde pública e ambiental e proteger a segurança do trabalhador. Ela também reduz o custo elevado do destino final em aterros e o passivo ambiental (MARKLEY, 2001). Não obstante, Varin e Roinat (2008) relatam que a remodelagem é a principal fonte de receita de uma empresa de reciclagem de computadores, onde a venda às desmanteladoras e às empresas de recuperação de matéria prima é apenas uma fonte de renda secundária.

Bauer et al. (2011) desenvolveram um estudo para o *U.S. Department of Energy* (DOE), onde é relatada a situação sobre oferta, demanda e preços de 16 elementos químicos da Tabela Periódica essenciais para o desenvolvimento de tecnologias para produção de energia limpa. Os dados são fornecidos para nove elementos de terras raras lantânio (La), cério (Ce), praseodímio (Pr), samário (Sm), ítrio (Y), neodímio (Nd), európio (Eu), térbio (Tb) e disprósio (Dy), bem como para o índio (In), gálio (Ga), telúrio (Te), cobalto (Co), lítio (Li), níquel (Ni) e manganês (Mn). Os autores estimam que em curto prazo (para o Dy, Tb, Eu, Nd e Y até 2015) e em médio prazo (para o Ce, In, La e Te de 2015 a 2025) várias tecnologias para geração de energia limpa, tais como, energia eólica, veículos elétricos,

células voltaicas e materiais de iluminação fluorescente correm o risco de interrupção, devido à falta destas matérias primas essenciais.

Segundo Buchert et al. (2012) 97% dos terras raras utilizados no mundo, são atualmente extraídos e transformados na República Popular da China. A China sofre atualmente uma deterioração dramática desses metais, pois fornece terras raras para os países ocidentais industrializados. Com relação ao neodímio, em 2003, 1 kg desse metal custava U\$ 6,40 e em 2011 o valor de 1 kg chegou a U\$ 500,00. 1 kg de térbio em 2003 custava U\$ 180,00, em 2011 o preço de 1 kg chegou a quase U\$ 5.000,00. A fim de manter o preço dos terras raras em um nível elevado, a República Popular da China cessou temporariamente em 2011 a produção de terras raras.

Países da União Europeia, bem como Holanda, Japão, China, Coreia do Sul, Austrália e Canadá desenvolveram políticas sobre matérias primas de interesse que representam seus interesses nacionais. Dentre elas, pode-se citar a identificação de materiais substitutos, a melhoria dos processos de coleta e reciclagem de produtos em fim de vida, a promoção de práticas de desenvolvimento sustentável na mineração, dentre outras (BAUER et al., 2010).

Graedel et al. (2011) apresenta um estudo sobre as taxas de reciclagem de fim de vida (*End-of-Life Recycling Rate* (EOL-RR)) de sessenta metais da Tabela Periódica. Para dezoito dos sessenta metais está estimada uma EOL-RR de acima de 50%. Três metais estão no grupo com EOL-RR entre 50% e 25% e três no grupo com EOL-RR entre 25% e 10%. Os terras raras apresentam uma EOL-RR menor que de 1%. Para um número muito grande, pouca ou nenhuma reciclagem ocorre, ou porque a reciclagem não possui valor econômico ou porque não existe tecnologia adequada para efetuar-la. A Tabela 4 apresenta as taxas de reciclagem para 60 elementos da Tabela Periódica.

Tabela 4 – Taxas de reciclagem para 60 elementos da Tabela Periódica.

Taxa de Reciclagem para 60 elementos da Tabela Periódica				
>50%	<50% e >25%	<25% e >10%	<10% e >1%	<1%
Al, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Nb, Rh, Pd, Ag, Sn, Re, Pt, Au, Pb	Mg, Mo, Ir	Ru, Cd, W	Sb, Hg	Li, Be, B, Sc, V, Ga, Ge, As, Se, Sr, Y, Zr, In, Te Ba, Hf, Ta, Os, Tl, Bi, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu

Fonte: Adaptado de Graedel et al. (2011).

A base ativa de microcomputadores no Brasil em 2014 está estimada em 136 milhões de PCs (Meirelles, 2014) e no mundo 2 bilhões em 2013 (Varin e Roinat, 2008).

Com base em uma vida útil de 5 anos (Leite, Lavez e de Souza, 2009) e nos dados de massa e eficiência de reciclagem dos materiais de microcomputadores da MCC (1996), pode-se inferir que haverá uma grande quantidade de materiais recicláveis nos resíduos desses microcomputadores. A Tabela 5 apresenta a estimativa da quantidade de material com possibilidade de recuperação nos microcomputadores a serem descartados no Brasil em 2019 e no mundo em 2018.

Tabela 5 – Estimativa da quantidade de materiais a serem reciclados contidos nos microcomputadores a serem descartados no Brasil em 2019 e no mundo em 2018.

Elemento/ Substância	Conteúdo (% do peso total)	Eficiência de reciclagem (%)	Brasil em 2019		Mundo em 2018	
			Peso (t)	Material recuperável (t)	Peso (t)	Material recuperável (t)
Alumínio	14,172	80	612.923,63	490.338,90	9.013.582,80	7.210.866,24
Antimônio	0,009	0	406,53	0,00	5.978,40	0,00
Arsênio	0,001	0	56,22	0,00	826,80	0,00
Bário	0,032	0	1.362,31	0,00	20.034,00	0,00
Berílio	0,016	0	678,99	0,00	9.985,20	0,00
Bismuto	0,006	0	272,46	0,00	4.006,80	0,00
Cádmio	0,009	0	406,53	0,00	5.978,40	0,00
Cobalto	0,016	85	678,99	577,14	9.985,20	8.487,42
Cobre	6,929	90	299.652,42	269.687,18	4.406.653,20	3.965.987,88
Condutores	6,299	5	272.410,50	13.620,53	4.006.036,80	200.301,84
Cromo	0,006	0	272,46	0,00	4.006,80	0,00
Estanho	1,008	70	43.585,33	30.509,73	640.960,80	448.672,56
Európio	0,000	0	8,65	0,00	127,20	0,00
Ferro	20,471	80	885.338,46	708.270,77	13.019.683,20	10.415.746,56
Gálio	0,001	0	56,22	0,00	826,80	0,00
Germânio	0,002	0	69,20	0,00	1.017,60	0,00
Índio	0,002	60	69,20	41,52	1.017,60	610,56
Ítrio	0,000	0	8,65	0,00	127,20	0,00
Manganês	0,032	0	1.362,31	0,00	20.034,00	0,00
Mercurio	0,002	0	95,15	0,00	1.399,20	0,00
Nióbio	0,000	0	8,65	0,00	127,20	0,00
Níquel	0,850	80	36.773,77	29.419,02	540.790,80	432.632,64
Ouro	0,002	99	69,20	68,50	1.017,60	1.007,42
Paládio	0,000	95	12,97	12,33	190,80	181,26
Plásticos	22,991	20	994.301,79	198.860,36	14.622.085,20	2.924.417,04
Prata	0,019	98	817,39	801,04	12.020,40	11.779,99
Rutênio	0,002	80	69,20	55,36	1.017,60	814,08
Selênio	0,002	70	69,20	48,44	1.017,60	712,32
Sílica	24,890	0	1.076.442,72	0,00	15.830.040,00	0,00
Tântalo	0,016	0	678,99	0,00	9.985,20	0,00
Titânio	0,016	0	678,99	0,00	9.985,20	0,00
Vanádio	0,000	0	8,65	0,00	127,20	0,00
Zinco	2,205	60	95.344,54	57.206,72	1.402.125,60	841.275,36
	100,00		4.324.990,29	1.799.517,54	63.602.798,40	26.463.493,18

Fonte: Adaptado de MCC (1996); Varin e Roinat (2008); Leite, Lavez e de Souza (2009) e Meirelles (2014).

Com relação à eficiência de reciclagem dos materiais que compõem um microcomputador (Tabela 5), o ouro é o que possui maior eficiência, a qual chega a 99%,

seguido pela prata com 98%, a platina e o paládio com 95%, o cobre com 90%, o cobalto com 85%, o rutênio, níquel, alumínio e ferro com 80%. O selênio, estanho, índio, zinco e ródio ficam entre 70% e 50%. O plástico possui somente 20% de eficiência de reciclagem (MCC, 1996).

Ao analisar a Tabela 5 verifica-se que a quantidade de ouro que poderá ser reciclada chegará em 69,20 toneladas no Brasil em 2019 e 1.007,42 toneladas no mundo em 2018. Se a cada tonelada de minério extraído no Brasil, sobram apenas 0,4 gramas de ouro, pode-se inferir que se recuperado 69,20 t de ouro, deixaríamos de minerar 171.263.000 toneladas de minério da natureza.

Na reciclagem de 490.339,00 toneladas de alumínio (Tabela 5), pode-se estimar que se deixaria de gerar 637.440,58 t resíduo de bauxita, 980.677,81 t de emissão de CO₂ e 5.393,73 t de emissão de SO₂, isso somente no Brasil. No mundo o benefício ambiental seria bem maior, com a redução de 9.374.126,11 t resíduo de bauxita, 14.421.732,48 t de emissão de CO₂ e 79.319,53 t de emissão de SO₂.

O aparecimento dos mercados informais, principalmente nos países em desenvolvimento, nasce por meio das potenciais oportunidades econômicas relacionadas com a recuperação dos materiais contidos em computadores. Esses países não estão estruturados para realização da reciclagem desses resíduos, pois perdem quantidades significativas de materiais que poderiam ser recuperados de maneira mais eficiente. Os mercados informais empregam técnicas de recuperação e reciclagem de materiais insalubres, os quais colocam em risco o meio ambiente e a saúde dos trabalhadores e da população (VARIN e ROINAT, 2008).

Segundo Schulep et al. (2009) o Brasil é um dos países em desenvolvimento com capacidade de realizar a produção industrial dos processos de reciclagem de REEE, juntamente com a África do Sul, Marrocos, México e Colômbia. Esses países apresentam significativo potencial para adaptar tecnologias de pré-processamento e destinação final de suas próprias necessidades.

2.4.2 Cadeia de gestão de resíduos de computadores

De acordo com Araújo (2013) a cadeia de gestão de resíduos de computadores está dividida em três etapas: a) logística reversa; b) pré-tratamento ou tratamento primário, e; c) tratamento secundário. A etapa da logística reversa consiste na coleta dos equipamentos em empresas, domicílios, postos de entrega voluntária e outros. O pré-tratamento ou tratamento

primário consiste na desmontagem dos computadores e segregação das partes, módulos e componentes. Módulos e partes que estão em funcionamento devem ser utilizados na remanufatura de outros computadores e as partes que contém substâncias perigosas devem ser separadas para tratamento adequado. Nesta etapa devem-se segregar as placas de circuito impresso, que são de interesse econômico devido à possibilidade de recuperação de metais como ouro, cobre e outros. O tratamento secundário trata-se dos processos metalúrgicos, químicos e físicos utilizados na recuperação dos materiais dos REEE, bem como os processos utilizados para recuperação energética utilizando tais resíduos.

Araújo (2013) estima que atualmente no Brasil apenas uma pequena quantidade de resíduos de computadores é tratado e não existem dados consistentes com relação a essa quantidade. Existem algumas empresas que compram PCIs e exportam para China e Europa, onde é feita a recuperação dos metais nobres. O autor relata ainda que no Brasil, resíduos de computadores são enviados para aterros sanitários e controlados e até mesmo lixões.

2.4.2.1 Processos de pré-tratamento de resíduos de computadores

Para reaver a matéria-prima contida nos microcomputadores, deve-se desmontá-lo para recuperação do material, além de remover os componentes que devem ter tratamento específico (OECD, 2003). O Anexo VII da Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho lista os materiais e componentes que devem ser removidos de um computador, independente do grau de periculosidade. Na listagem consta a remoção dos elementos que contém mercúrio, das baterias, das PCIs (se a superfície da PCI for maior que 10 cm²) e dos plásticos que contém retardantes de chama. Também devem ser removidos os cabos elétricos e os condensadores eletrolíticos que contenham substâncias que causam preocupação (altura: > 25 mm, diâmetro \geq 25 mm ou volumes de proporções semelhantes) (UNIÃO EUROPEIA, 2012).

Segundo Crowe et al. (2003) para efetuar o desmantelamento dos microcomputadores devem ser seguidas as etapas de desmontagem, segregação de metais ferrosos, metais não ferrosos, plásticos, remoção das partes com maior valor econômico e remoção das partes que contém substâncias perigosas. Já Varin e Roinat (2008), detalham o processo de desmontagem de gabinetes de microcomputadores. Para os autores a desmontagem consiste em remover os diversos componentes e colocá-los em lotes homogêneos a fim de serem recuperados pelas indústrias apropriadas. Primeiramente, retira-se a tampa do gabinete para se ter acesso aos componentes internos e separa-se conforme o tipo e material. Após deve ser retirada a fonte de energia e seus cabos de alimentação.

Devem-se remover o disco rígido (HD) e as PCIs (a principal é a placa-mãe). Da placa-mãe devem ser extraídos os módulos de memória, o microprocessador e a bateria.

De acordo com Buchert et al. (2012) a desmontagem manual durante a fase de pré-tratamento é necessária para melhorar a reciclagem dos REEE. Os autores também relatam que a técnica praticada principalmente na Alemanha, onde é efetuada a trituração de equipamentos inteiros, leva a perda de materiais críticos, principalmente dos metais preciosos, que não são recuperados nesse processo. Para recuperação desses metais é necessário remover manualmente os componentes que possuem matérias-primas importantes.

2.4.2.2 Processos de tratamento secundário de resíduos de computadores

Os processos de recuperação e reciclagem de REEE são complexos e requerem a utilização de tecnologias avançadas, devido à heterogeneidade de sua composição e a periculosidade das substâncias tóxicas neles contidas. Estes processos visam principalmente o reciclagem dos metais e dos polímeros contidos nesses resíduos. Dentre os REEE, as placas de circuito impresso (PCIs) são consideradas os componentes mais interessantes a nível econômico, devido a sua quantidade de metais (BEXIGA, 2009).

Park e Fray (2009) relatam que os metais preciosos encontrados em placas de circuito impresso representam mais de 80% do valor inerente das PCIs, apesar da quantidade desses metais serem inferior a 1% da massa total. Os autores expõem ainda que o ouro é o metal mais importante a ser recuperado em placas de circuito impresso.

Os principais métodos de reciclagem de PCIs utilizados atualmente são: processamento mecânico, hidrometalurgia, pirometalurgia e eletrometalurgia. Ainda pode-se citar como método a biotecnologia e a combinação de métodos utilizando tecnologias químicas e metalúrgicas (VEIT, 2005). Veit (2005) efetuou o processamento de placas mãe a fim de recuperar por processamento mecânico, o cobre contido. Seguiu as etapas de desmontagem, cominuição, classificação granulométrica, análises químicas, separação magnética e separação eletrostática. Segundo o autor, os componentes das PCIs são soldados com uma liga Pb-Sn (37%-63%) que tem baixo ponto de fusão (~183°C) e quando aquecidas, soltam-se facilmente. Na cominuição, utilizou moinho de facas e na classificação granulométrica utilizou três peneiras: 1,0 mm (#16 mesh); 0,5 mm (#32 mesh) e 0,25 mm (#60 mesh). As análises químicas foram efetuadas por Espectrometria de Fluorescência de Raios-X, onde foram analisadas as frações de cobre, zinco, bromo, ferro, níquel, chumbo,

estanho e ouro. Como resultado conseguiu recuperar cerca de 25% do cobre contidos nas PCIs estudadas.

A reciclagem de sucatas metálicas é importante, pois pode representar um lucro econômico, próprio do metal, o qual é significativo em metais como cobre, chumbo, alumínio e nos metais preciosos, tais como ouro, prata e platina. Outra vantagem na reciclagem desse tipo de sucata é a economia de energia, pois no processo primário da produção dos metais existe um elevado consumo de energia, o que não ocorre na reciclagem desses materiais. Os principais métodos de reciclagem destas sucatas utilizados atualmente são: processamento mecânico, hidrometalurgia, pirometalurgia e eletrometalurgia (Veit, 2005). Cui e Zhang (2008) citam que os principais métodos para recuperação de metais preciosos de REEE são o pirometalúrgico, o hidrometalúrgico e o biometalúrgico. Os autores mencionam a pirometalurgia como a tecnologia habitual utilizada e que na última década a hidrometalurgia tem sido destacada. O Quadro 6 apresenta as atuais opções disponíveis para recuperação e reciclagem de sucatas metálicas e de PCIs de REEE.

Quadro 6 – Opções disponíveis para recuperação e reciclagem de metais e PCIs de REEE

Opções	Definições	Considerações
Processamento mecânico	Faz parte do processamento mecânico a cominuição, classificação e separação por diferença de peso, granulometria, propriedades magnéticas e elétricas. Utilizado principalmente para recuperação de cobre, ferro e níquel.	Estudos que utilizaram esse processo: Tenório et al. (1997), Zang e Forssberg (1998), Veit et al. (2002, 2005), Duan et al. (2009) Lee et al. (2009), Kasper (2011) e De Moraes (2011), dentre outros.
Hidrometalurgia	Esse processo consiste em uma série de ataques de soluções ácidas ou cáusticas, com objetivo de dissolver materiais sólidos. Utilizado principalmente para recuperação de cobre, níquel, ouro e prata.	Os autores Sum (1991), Lee et al. (2003), Kinoshita et al. (2003), Frias et al. (2004), Veit (2005), Kim et al. (2008), Park e Fray (2009) e De Moraes (2011), dentre outros, citaram/utilizaram esse processo em seus estudos.
Pirometalurgia	É um mecanismo de concentração de metais em uma fase metálica e a rejeição da maioria dos materiais estranhos em uma fase escória. Utilizado principalmente para recuperação de metais preciosos.	Schichang et al. (1994), Szczygiel et al. (1998), Seebacher et al. (2004), Veit (2005), Hall e Williams (2007), Marco et al. (2008), Guo et al. (2009), Zhou (2010), dentre outros, citaram/utilizaram esse processo em seus estudos.
Eletrometalurgia	É o processo de obtenção de metais por meio da eletrólise. São geralmente efetuados em eletrólitos aquosos ou sais fundidos. Utilizado na recuperação de metais tais como cobre, níquel, estanho, chumbo, cádmio, zinco, dentre outros.	Estudos que utilizaram/citaram esse processo: Sum (1991), Scott et al. (1997), Fornari e Abbruzzese (1999), Juarez e Dutra (2000), Doulakas et al. (2000), Garcia-Gabaldón (2006), dentre outros.
Biometalurgia	É o uso de bactérias na reciclagem de metais, especificamente na recuperação de ouro e na digestão de metais presentes nas sucatas eletrônicas.	Sum (1991) e Brandl (2001) estudaram esse processo, onde obtiveram ótimos resultados na recuperação de ouro, cobre, estanho, alumínio, níquel, chumbo e zinco.

Fonte: Adaptado de Veit (2005) e Kasper (2011).

Os plásticos contidos nos REEE correspondem a 30% do montante total dos REEE (UNEP, 2005). De acordo com Al-Salem, Lettieri e Baeyens (2009) existem quatro maneiras de reciclar plásticos, são elas: a) reciclagem primária (re-extrusão); b) secundária (reciclagem mecânica); c) terciária (reciclagem química), e; d) quaternária (recuperação de energia). Os processos de reciclagem primária e secundária são conhecidos e estão largamente consagrados e os sistemas terciários e quaternários aparecem como soluções sustentáveis. Segundo os autores, utilizando a técnica de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X, os diferentes retardantes de chamas utilizados podem ser identificados.

Os plásticos contêm materiais orgânicos, que depois de tratados corretamente podem ser utilizados para produzir combustíveis ou matérias-primas químicas (YANG et al., 2013). O Quadro 7 apresenta as atuais opções disponíveis para destinação/reciclagem de plásticos de REEE.

Quadro 7 – Opções disponíveis para destinação/reciclagem de plásticos de REEE

Opções	Definições	Considerações
Disposição em aterro	Atualmente o aterro dos plásticos é o principal método de tratamento utilizado, devido às substâncias nocivas (retardantes de chamas) neles contidas.	A disposição em aterro não é um método inócuo. Sabe-se que todos os aterros vazam o que faz os materiais nocivos penetrar no solo e poluir a água subterrânea (UNEP, 2005).
Reciclagem mecânica	A reciclagem mecânica de plásticos é o reprocessamento desses, para formar novos produtos de plásticos semelhantes, com quase o mesmo nível de desempenho dos produtos originais.	É necessário separar e classificar os plásticos heterogêneos antes do processo de reciclagem mecânica. Além disso, precauções são necessárias durante o processo de reciclagem, devido à possível formação de substâncias tóxicas quando expostos ao estresse térmico.
Reciclagem energética	Visa à geração de energia térmica por incineração dos plásticos em uma caldeira ou outro equipamento similar.	O principal gargalo desse tipo de reciclagem é a possível formação de dioxinas e furanos dentro dos equipamentos de incineração.
Reciclagem de matéria-prima	Tem como objetivo converter os materiais orgânicos contidos em REEE plásticos em combustíveis, monômeros originais ou outros produtos químicos valiosos.	É vista como uma das opções mais valiosas para o tratamento de plásticos em REEE. A pirólise é o método mais utilizado, mas pode causar a formação de dioxinas e furanos.

Fonte: Adaptado de Yang et al. (2013).

De acordo com Yang et al. (2013) a reciclagem de matéria-prima por meio da pirólise é considerada a rota de processamento mais promissora para o tratamento dos plásticos dos REEE que contêm retardantes de chamas. Os óleos gerados na pirólise desses plásticos geralmente contêm um grande número de compostos orgânicos bromados que aparentemente, impedem a reutilização deles. Devido a esse fato é necessário tomar medidas de desalogenação durante o processo de pirólise a fim de obter óleos que não são

contaminados por halógenos. A pirólise consiste em um método favorável para a reciclagem de plásticos de REEE, mas existem muitas desvantagens que precisam ser superadas, pois o processo de pirólise e desalogenação aumenta o custo de reciclagem desse material.

Os métodos de reciclagem de fios e cabos são semelhantes aos processos de reciclagem de outros tipos de REEE. O principal objetivo desse tipo de reciclagem é separar o metal (geralmente cobre) do plástico (geralmente PVC) (ARAÚJO, 2006). Araújo et al. (2008), efetuaram a reciclagem de cabos por meio de operações unitárias de tratamento de minérios. Utilizaram as seguintes operações unitárias: moagem, separação granulométrica, separação em meio denso, separação eletrostática, atrição, bateamento e elutriação. Como resultado e obtiveram concentrados de cobre com baixo grau de contaminação.

Segundo Provazi, Espinosa e Tenório (2012) as pilhas e baterias possuem uma composição bastante heterogênea, as quais podem conter elementos como zinco, lítio, níquel, chumbo, mercúrio, cobalto, cádmio, ferro, cobre, manganês e terras-raras. Elas também podem possuir elementos considerados perigosos como cádmio, mercúrio e chumbo, além de conter ácidos ou bases.

Segundo Frenay e Feron (1990), os métodos de reciclagem de pilhas e baterias seguem três processos: operações unitárias de tratamento de minérios (moagem, britagem, separação granulométrica, separação eletrostática e separação magnética), hidrometalúrgica e pirometalúrgica. Souza e Tenório (2010) utilizaram o processamento hidrometalúrgico para recuperação de metais de sucatas de pilhas e baterias pós-consumo. Souza, Espinosa e Tenório (2011) utilizaram o processo de extração por solventes para recuperação dos elementos metálicos contidos em pilhas e baterias. Provazi, Espinosa e Tenório (2012) também utilizaram o processo de extração por solventes, onde foi possível separar o manganês, o ferro, o níquel, o cobalto e o cobre dos resíduos de pilhas e baterias.

Conforme Cerniak (2011) existem dois tipos de capacitores eletrolíticos, os líquidos e os sólidos. Comercialmente encontram-se esses tipos de capacitores produzidos com alumínio e com tântalo. De acordo com Iman (2007) os capacitores eletrolíticos de alumínio com eletrólito líquido contêm principalmente folhas de alumínio de alta pureza, papel separador, eletrólito, carcaça de alumínio, capa e partes de selagem, manga isolante (polipropileno, poliéster ou polivinil clorídrico) e, muitas vezes, válvulas de segurança feitas de borracha sintética. O eletrólito líquido é um líquido biodegradável baseado em um solvente estável com um elevado ponto de ebulição. O eletrólito é quimicamente neutro e não contém compostos de chumbo ou compostos halogenados e possui baixa toxicidade. A fumaça

resultante da queima do eletrólito é irritante, mas não contém dioxinas ou substâncias tóxicas similares. Estes capacitores contêm materiais, que podem inflamar e entrar em combustão quando em contato com chamas. Em caso de descarte estes capacitores devem ser incinerados a temperatura acima 1200°C e os resíduos devem ser dispostos em aterros adequados.

2.4.3 Canais de reciclagem/destinação para resíduos de computadores

Atualmente existem poucas empresas no mundo que realizam reciclagem de REEE de maneira integrada e com controles adequados. Estas empresas utilizam vários processos para recuperação principalmente de metais nobres como cobre, prata, platina, ouro e os terras raras. Os processos para recuperação dos metais mais utilizados são os pirometalúrgicos e os hidrometalúrgicos. É na Europa onde estão localizadas as empresas líderes que efetuam a recuperação de metais por meio da reciclagem de sucatas. Com o crescimento da quantidade de resíduos que contêm substâncias de interesse, pode-se perceber a ocorrência de uma expansão desse tipo de indústria. A seguir seguem as empresas identificadas neste estudo.

Umicore: com sede em Bruxelas/Bélgica. Possui uma unidade de refino de metais preciosos na cidade de Hoboken/Bélgica, onde processam a cada ano 300.000 toneladas de resíduos advindos de resíduos industriais, placas de circuito impresso usadas, catalisadores automotivos e catalisadores industriais exauridos. Atualmente atua na América do Norte, América Latina, Europa Oriental e na Ásia. No Brasil possui sede em Guarulhos/SP, onde atua a mais de 50 anos (UMICORE BRASIL, 2014).

Agro Drisa GmbH Dresden: Localizada na cidade Elstra região administrativa de Dresden/Alemanha. Atua na reciclagem de tubos de raios catódicos (CRT) e na produção de fragmentos purificados que são utilizados como matéria-prima para a produção de novos tubos CRTs, bem como na reciclagem de sucata eletrônica. A empresa possui certificações ISO 14001, ISO 9001 e EfbV (certificação para empresas de reciclagem). Atua a mais de 20 anos no mercado europeu, principalmente nos países: República Checa, Eslovênia, Suíça, Itália, França, Áustria, Índia e Sérvia (ELPRO ELEKTRONIK, 2014).

Aurubis: sua sede está localizada em Hamburg/Alemanha. Em 2006 inaugurou uma nova planta para realizar a reciclagem de metais preciosos de sucatas eletrônicas em Lünen/Alemanha. Também possui plantas instaladas em Olen/Bélgica e Pirdop/Bulgária. Apresenta elevado rendimento na recuperação de metais preciosos de sucatas de cobre e chumbo, tais como ouro, prata, platina, paládio e ródio. O Grupo está representado em 22

países (europeus, norte-americanos e asiáticos) e tem cerca de 6.200 funcionários (AURUBIS, 2014).

New Boliden: empresa mineradora fundada em 1931, sua sede está situada em Estocolmo/Suécia. Atua na reciclagem e reprocessamento de materiais desde 1960, principalmente na reciclagem e recuperação de resíduos que possuem metais valiosos (dentre eles os REEE). Recuperam zinco, cobre, chumbo, ouro e prata. Possui escritórios de venda e compra de matérias-primas e sucatas na Suécia, Dinamarca, Reino Unido e Alemanha (NEW BOLIDEN, 2014).

Cimelia Recycling: empresa localizada em Cingapura. Possui tecnologia de ponta e oferece serviços gerenciamento, reciclagem e recuperação de metais extraídos de sucatas de REEE, onde 100% das sucatas são recicladas. Possui pontos de coleta no Brasil, Estados Unidos, Alemanha, Malásia, Indonésia, China, Japão, Hong Kong, Taiwan, Tailândia, Índia e Arábia Saudita (CIMÉLIA, 2014).

Glencore Canadá Corporation: antiga Xstrara. Sua sede está localizada em Toronto/Canadá. A empresa está a mais de 50 anos na indústria da reciclagem e é considerada uma das maiores recicladoras de REEE do mundo, a qual recupera metais como cobre, ouro, prata, platina e paládio. Atualmente a empresa possui cinco instalações de reciclagem e quatro escritórios comerciais na América do Norte, Europa e Malásia (GLENCORE METALS & MINERALS, 2014).

Dowe Eco-System Co. Ltda.: Iniciou as operações de Gestão e Reciclagem Ambiental em 2006. Sua sede está localizada em Saitama/Japão. Atualmente possui 27 unidades japonesas, as quais efetuam a reciclagem de metais preciosos, metais ferrosos e não ferrosos, remanufatura e reprocessamento de produtos eletrônicos de consumo, eletrodomésticos, dentre outros. A empresa possui operações na Tailândia, Cingapura, Indonésia, EUA, China, e Taiwan (DOWA ECO-SYSTEM, 2014).

Belmont Trading Company: Fundada em 1988 com sede em Chicago/Illinois/EUA. Possui um centro para reciclagem de sucatas e equipamentos obsoletos de indústrias eletrônicas em Buffalo Grove/ Illinois/EUA. Em 2005 iniciou suas operações em São Paulo/Brasil e em 2006 abriu uma fábrica em Manaus/Amazonas. Nas duas unidades brasileiras efetua a desmontagem de REEE e os prepara para exportação, enviando-os para a instalação de Belmont em Guadalajara/México, para posterior processamento. Também

possui instalações no México, Colômbia, Reino Unido e Suécia (BELMONT TRADING, 2014).

SIPI Metals Corporation: fundada em 1905, com sede em Chicago/Illinois/EUA. Atua como refinaria de metais preciosos e fabricante de ligas de cobre. Efetua a recuperação de metais de resíduos de indústrias eletrônicas (placas de circuito impresso, *chips*, memórias, conectores, celulares, etc.) químicas, fotográficas e aeroespaciais. São especializados no tratamento de grandes quantidades de resíduos com metais preciosos, mesmo os misturados com impurezas (SIPI METALS, 2014).

Atualmente não existe no Brasil nenhuma empresa que realize a recuperação de metais preciosos de resíduos. Existem algumas empresas que efetuam a descaracterização de REEE e revendem o material para empresas de reciclagem. A maioria dos materiais é reciclada internamente, mas os componentes que possuem metais preciosos são vendidos para empresas internacionais que efetuam a reciclagem e recuperação desses metais. Nesse processo, fica no País somente os resíduos sem possibilidade de reaproveitamento (rejeitos) e os que possuem baixo valor agregado, pois o material que possui alto valor econômico sai do Brasil. De acordo com o CEMPRE (2014) existem hoje no País 20 empresas que efetuam a coleta, triagem e descaracterização de diversos tipos de REEE (desde geladeiras até pequenos aparelhos). Após o processo de descaracterização, as empresas vendem o material para as recicladoras dentro e fora do país.

Apesar das empresas brasileiras serem capazes de separar os principais materiais dos REEE (SCHULEP et al., 2009), no Brasil ainda não existe nenhuma empresa que realize a recuperação de metais nobres. Existem atualmente alguns estudos em Universidades e Programas de Pós Graduação que tratam da reciclagem de metais nobres presentes nos REEE. O Quadro 8 apresenta alguns estudos encontrados.

Quadro 8 – Estudos brasileiros sobre a recuperação de metais de REEE.

Título	Processo	Autores
Utilização de separação magnética e eletrostática na reciclagem de placas de circuito impresso.	Recuperação de metais de placas de circuito impresso de computadores pessoais por meio de tratamento mecânico.	Veit et al. (2005).
Recuperação de cobre a partir de sucatas de placas de circuito impresso por processamento mecânico e eletrometalúrgico.	Recuperação de cobre de PCIs de computadores por meio de processamento mecânico, separação magnética e eletrostática.	Veit et al. (2006).
Sucatas eletrônicas - Recuperação de materiais valiosos de fios paralelos.	Reciclagem de materiais de cabo de fio paralelo por meio de operações unitárias de processamento mineral.	Araújo et al. (2008).
Recuperação de estanho e cobre por reciclagem de placas de circuito impresso de computadores obsoletos.	Recuperação de estanho e cobre de PCIs de computadores, por meio de lixiviação seguida por precipitação.	Castro e Martins (2009).
Remoção de metais nobres no processo de reciclagem de placas de circuito impresso.	Estudo cinético e termodinâmico da utilização do tanino de acácia negra (acácia mearnsii) para recuperar prata de PCIs.	De Santa Helena (2009).
Placas de circuito impresso de celulares: caracterização e reciclagem de cobre.	Recuperação de cobre de PCIs de celulares, utilizando técnicas de processamento mecânico, hidrometalurgia e eletrometalurgia.	Kasper et al. (2011).
Recuperação de metais de Placas de circuito impresso de celulares obsoletos.	Recuperação de ferro, cobre, níquel e zinco a partir de processamento mecânico e hidrometalúrgico.	De Moraes (2011).

Após o desmantelamento e classificação dos resíduos de um computador, devem-se direcionar os materiais para a recuperação adequada. Vender lotes de materiais o mais homogêneos possível maximiza os lucros das empresas de pré-tratamento desses resíduos (VARIN e ROINAT, 2008). O Quadro 9 apresenta os possíveis canais de reciclagem/destinação para os materiais obtidos por meio do desmantelamento dos microcomputadores.

Quadro 9 – Canais de reciclagem/destinação para os materiais obtidos por meio do desmantelamento de microcomputadores.

Material obtido	Observações	Canais de reciclagem
Metais ferrosos	Os metais ferrosos representam a maior quantidade de metais utilizada em um microcomputador.	Os metais podem ser vendidos para as indústrias de ferro e aço para a produção de matérias-primas ou a sucateiros.
Metais não ferrosos	Os metais não ferrosos são encontrados em quantidades menores e quase sempre estão misturados com outros componentes, necessitam de tecnologias avançadas para sua recuperação. Os metais não ferrosos são uma boa fonte de lucro e pode-se vendê-los misturados.	Os metais não ferrosos podem ser vendidos para refinarias ou usinas para a produção de matérias-primas e recuperação de metais nobres e preciosos.
Plásticos	O ideal para reduzir os custos de logística é reduzir o volume do material por meio da moagem desses materiais.	Os plásticos podem ser enviados para as indústrias de recuperação de plásticos ou para sucateiros.
Placas de circuito impresso	Para agregar valor às PCIs é necessário classificá-las de acordo com seu conteúdo de metal precioso e remover os componentes considerados perigosos.	As placas podem ser vendidas para refinarias ou empresas especializadas em recuperação de metais preciosos.
Pilhas, baterias e acumuladores de energia	Seu conteúdo pode ter um impacto negativo sobre o meio ambiente. Deve-se ter cuidado com esse tipo de material.	Se recicláveis, deve-se revender estas baterias para as indústrias que possuem os equipamentos e tecnologias necessários para recuperá-los. Se não tiver valor econômico, o mesmo deve ser descartado em aterro industrial.
Cabos	Os cabos podem ser picados antes de ser enviado para indústrias especializadas ou queimados em instalação devidamente habilitadas para recuperar o cobre.	Podem ser recuperados pelas indústrias especializadas na separação de fios de cobre a partir de suas bainhas de plástico.
Materiais não recicláveis	Composto principalmente de plásticos e resinas que contém retardantes de chama.	Podem ser utilizados como fonte energética ou descartados em aterro industrial.

Fonte: Adaptado de Varin e Roinat (2008).

As empresas parceiras devem oferecer vantagens econômicas e ambientais, a fim de receber o material a ser reciclado. Para evitar riscos, o empreendedor deve encontrar empresas apropriadas para tratar e recuperar os lotes de materiais resultantes da operação de pré-tratamento. Também devem ser levados em conta os aspectos relacionados ao meio ambiente, bem como os aspectos relacionados à saúde e segurança dos trabalhadores (VARIN e ROINAT, 2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Instalou-se uma unidade para **pré-tratamento** de resíduos de gabinetes de microcomputadores de mesa, no Laboratório de Saneamento Ambiental na UNISINOS. Obtiveram-se os equipamentos para desmontagem no Setor de Informática da Universidade. Foram desmontados gabinetes de microcomputadores de mesa, modelo ATX desktop, do tipo horizontal, fabricante IBM, ano de fabricação 2002, de 5ª geração e processador Pentium 4.

3.1 DEFINIÇÃO DA AMOSTRA

Obtiveram-se os dados dos computadores descartados no ano de 2013 no setor do Sistema de Gestão Ambiental da UNISINOS. Agruparam-se os computadores por modelo e ano de fabricação, após foram selecionados 5 gabinetes do modelo 8305 fabricado em 10/2002 dos 238 (deste mesmo modelo e ano) descartados em 2013. Os gabinetes selecionados encontravam-se estocados no setor de Suprimentos da Universidade, os quais aguardavam o descarte apropriado.

3.2 METODOLOGIA PARA ATENDER AO OBJETIVO 1 – EFETUAR O BALANÇO DE MASSA DOS RESÍDUOS DE GABINETES DE MICROCOMPUTADORES DE MESA

A avaliação do balanço de massa do Objetivo 1 foi efetuada por meio de verificação visual, a qual é a praticada nas áreas de **pré-tratamento** de REEE. Esta avaliação difere da avaliação posterior efetuada no Objetivo 3, onde é realizada análise qualitativa dos elementos químicos que compõe os resíduos deste estudo, a qual não é efetuada na prática.

Para efetuar o balanço de massa dos gabinetes, seguiram-se 5 etapas. Todas as etapas foram efetuadas em um gabinete de cada vez. Desmontaram-se os equipamentos no Laboratório de Saneamento Ambiental da UNISINOS. Para a desmontagem dos equipamentos foram utilizadas ferramentas manuais (alicates, chaves de fenda, jogo de chaves, tesoura, formão, dentre outras) e equipamentos de proteção individual (guarda-pó, óculos, luvas e sapatos fechados). Para efetuar a pesagem do material utilizou-se uma balança Marca Balmak, modelo MP-50, com capacidade de carga de 50 kg e precisão de 10 g e uma balança de precisão Marca Bioprecisa. Efetuaram-se as medições com uma trena de metal de 5 m marca Vonder.

Efetuuou-se a retirada dos componentes soldados das placas de circuito impresso por meio da utilização de uma chapa aquecedora marca Quimis, aquecimento até 320°C, localizada dentro de uma Capela para exaustão de gases tóxicos marca Permutation. A Capela

possui porta frontal em acrílico transparente com deslocamento vertical e exaustor do tipo centrífugo com motor blindado. As PCIs quando aquecidas geram gases que podem ser tóxicos, devido a este fato, faz-se necessário o controle destas emissões, bem como a utilização de luvas para proteção térmica com resistência a altas temperaturas, para manuseio das peças aquecidas.

As planilhas de controle foram executadas no software Microsoft Office Excel 2007. Para atender a este objetivo, adaptou-se a metodologia de [Varin e Roinat \(2008\)](#).

Etapa 1: na primeira etapa catalogou-se o gabinete inteiro. Cada gabinete foi identificado na chegada ao laboratório por tipo (torre ou horizontal), fabricante, ano de fabricação e geração. Efetuou-se a medição (altura, largura e comprimento) e após, o gabinete foi pesado. Os dados obtidos foram transferidos para a Planilha 1 – Controle de gabinetes de microcomputadores.

Planilha 1 – Controle de gabinetes de microcomputadores.

Código do gabinete	Tipo (torre ou horizontal)	Fabricante/Marca	Data de fabricação	Geração	Dimensões (cm)			Massa (kg)
					Altura	Largura	Comprimento	
							Total	

Etapa 2: na segunda etapa cada gabinete foi desmontado manualmente. Primeiramente removeu-se a tampa do gabinete para obter o acesso aos componentes internos, após seguiram-se os passos de remoção, segregação e pesagem de todos os componentes encontrados. Removeram-se todos os componentes, os quais foram segregados em oito grupos que são: (1) drive de disquetes, (2) drive de CDs, (3) cabos IDEs, (4) HD, (5) cooler, (6) placa mãe, (7) fonte de energia e (8) tampa, corpo e outras partes. Os componentes foram catalogados na Planilha 2 – Massa dos componentes dos gabinetes.

Planilha 2 – Massa dos componentes dos gabinetes.

Código do gabinete	Massa (kg)	Massa dos componentes dos gabinetes (kg)									
	Gabinete montado	Drive de disquetes	Drive de CD	Cabos IDE	HD	Cooler	Placa mãe	Fonte de energia	Tampa	Corpo	Outras partes
Média											

Após efetuar a remoção, segregação e pesagem de todos os componentes do gabinete individualmente, obteve-se o balanço de massa de um gabinete de microcomputador por tipo de componente.

Etapa 3: consistiu na desmontagem de todos os componentes removidos e pesados anteriormente. Após a desmontagem, segregaram-se os materiais encontrados em sete grupos de materiais: (1) plásticos, (2) metais não ferrosos, (3) metais ferrosos, (4) materiais com substâncias de interesse (PCIs, microprocessadores e seus soquetes, módulos de memória, capacitores eletrolíticos de alumínio e componentes eletrônicos), (5) materiais considerados perigosos (baterias), (6) fios e cabos e (7) outros materiais (tecidos, fitas adesivas, esponjas, látex, borrachas, rejeitos misturados (plástico com metal), cerâmicas, etc.).

O grupo de materiais com substâncias de interesse (4), bem como o grupo de materiais considerados perigosos (5) foram classificados conforme bibliografias e legislações encontradas. Cada grupo foi segregado separadamente, pesado e catalogado na Planilha 3, Planilha 4, Planilha 5, Planilha 6, Planilha 7, Planilha 8, Planilha 9 e Planilha 10 conforme segue.

Planilha 3 – Massa dos materiais dos drives de disquetes.

Código do gabinete	Drive de disquetes (kg)	Massa dos materiais (kg)						
		Plásticos	Metais não ferrosos	Metais ferrosos	Materiais com substâncias de interesse	Materiais considerados perigoso	Fios e cabos	Outros materiais
	Média							

Planilha 4 – Massa dos materiais dos drives de CDs.

Código do gabinete	Drive de CD (kg)	Massa dos materiais (kg)						
		Plásticos	Metais não ferrosos	Metais ferrosos	Materiais com substâncias de interesse	Materiais considerados perigoso	Fios e cabos	Outros materiais
	Média							

Planilha 5 – Massa dos materiais dos cabos IDEs.

Código do gabinete	Cabos IDE (kg)	Massa dos materiais (kg)						
		Plásticos	Metais não ferrosos	Metais ferrosos	Materiais com substâncias de interesse	Materiais considerados perigoso	Fios e cabos	Outros materiais
	Média							

Planilha 10 – Massa dos materiais do gabinete (tampa, corpo e outras partes).

Código do gabinete	Tampa (kg)	Corpo (kg)	Outras partes (kg)	Massa dos materiais (kg)						
				Plásticos	Metais não ferrosos	Metais ferrosos	Materiais com substâncias de interesse	Materiais considerados perigoso	Fios e cabos	Outros materiais
Média										

Após efetuar a desmontagem, segregação e pesagem de todos os materiais dos componentes de cada gabinete, obteve-se o balanço de massa dos componentes de um gabinete de microcomputador de mesa por tipo de material.

Etapa 4: na quarta etapa, agruparam-se os sete grupos de materiais de cada componente (que foram desmontados e segregados anteriormente), a fim de se obter o balanço de massa do gabinete total por tipo de material. Efetuou-se o agrupamento dos sete grupos de materiais: (1) plásticos, (2) metais não ferrosos, (3) metais ferrosos, (4) material com substâncias de interesse (PCIs, microprocessadores e seus soquetes, módulos de memória, capacitores eletrolíticos de alumínio e componentes eletrônicos), (5) materiais considerados perigosos (baterias), (6) fios e cabos e (7) outros materiais (tecidos, fitas adesivas, esponjas, látex, borrachas, rejeitos misturados (plástico com metal), cerâmicas, etc.). Cada grupo foi catalogado na Planilha 11 – Massa dos gabinetes por tipo de material.

Planilha 11 – Massa dos gabinetes por tipo de material.

Código do gabinete	Gabinete total (kg)	Massa dos gabinetes por tipo de material (kg)						
		Plásticos	Metais não ferrosos	Metais ferrosos	Materiais com substâncias de interesse	Materiais considerados perigoso	Fios e cabos	Outros materiais
Média								

Etapa 5: na quinta etapa efetuou-se o balanço de massa dos tipos de plásticos. A separação foi conforme os símbolos da ABNT NBR 13230:2008 – Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis – Identificação e simbologia. Nesta separação obtiveram-se dois grupos de materiais: a) plásticos com identificação, e; b) plásticos sem identificação. Após a separação, os materiais foram segregados e pesados, em seguida transferiram-se os dados obtidos para a Planilha 12 – Massa dos plásticos dos gabinetes.

Planilha 12 – Massa dos plásticos dos gabinetes.

Código do gabinete	Gabinete Total (kg)	Massa dos plásticos dos gabinetes					
		Plásticos total (kg)	Presença no gabinete (%)	Plásticos com identificação (kg)	Presença no gabinete (%)	Plásticos sem identificação (kg)	Presença no gabinete (%)
Média							

Todos os plásticos com identificação foram segregados e pesados por tipo de plástico. Os dados obtidos foram transferidos para a Planilha 13 – Massa dos plásticos dos gabinetes por tipo de plástico.

Planilha 13 – Massa dos plásticos dos gabinetes por tipo de plástico.

Código do gabinete	Plásticos com identificação Total (kg)	Massa dos plásticos por tipo de plásticos					
		Tipo de plástico (kg)	Presença no gabinete (%)	Tipo de plástico (kg)	Presença no gabinete (%)	Tipo de plástico (kg)	Presença no gabinete (%)
Média							

Após tabular todos os dados das 5 etapas, obteve-se a massa dos oito componentes, dos sete grupos de materiais, bem como dos tipos de plásticos que compõe um gabinete de microcomputador de mesa, assim concluiu-se o Objetivo 1 deste estudo. A Figura 4 apresenta o fluxograma da metodologia utilizada para atender as 5 etapas do Objetivo 1 do presente estudo.

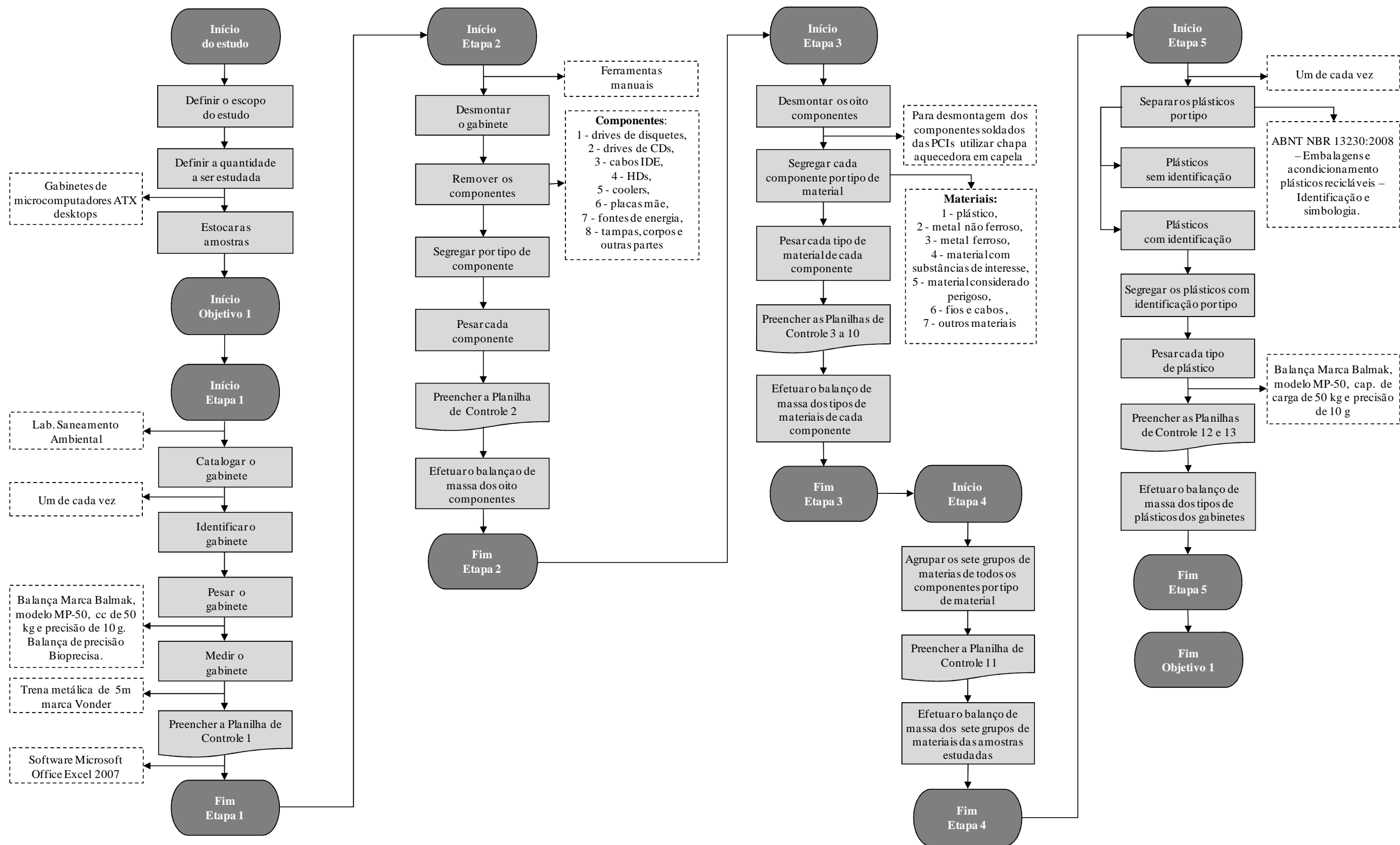


Figura 4 – Fluxograma da metodologia utilizada para atender ao Objetivo 1.

3.3 METODOLOGIA PARA ATENDER AO OBJETIVO 2 – CALCULAR A POTENCIAL TAXA DE RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DE GABINETES DE MICROCOMPUTADORES DE MESA

Para calcular a potencial taxa de reciclagem seguiram-se 3 etapas. Calculou-se a taxa de reciclagem conforme as diretrizes da [Diretiva Europeia 2012/19/UE](#) de 2012.

Etapa 1: calculou-se a potencial taxa de reciclagem dos sete grupos de materiais dos gabinetes: (1) plásticos, (2) metais não ferrosos, (3) metais ferrosos, (4) materiais com substâncias de interesse (PCIs, microprocessadores e seus soquetes, módulos de memória, capacitores eletrolíticos de alumínio e componentes eletrônicos), (5) materiais considerados perigosos (baterias), (6) fios e cabos e (7) outros materiais (tecidos, fitas adesivas, esponjas, látex, borrachas, rejeitos misturados (plástico com metal), cerâmicas, etc.).

Etapa 2: foram calculadas as potenciais taxas de reciclagem dos oito componentes dos gabinetes: (1) drives de disquetes, (2) drives de CDs, (3) cabos IDEs, (4) HDs, (5) coolers, (6) placas mãe, (7) fontes de energia e (8) tampas, corpos e outras partes.

Etapa 3: calculou-se a potencial taxa de reciclagem total dos gabinetes.

A definição da potencial taxa de reciclagem dos materiais deu-se por meio de levantamentos na [literatura](#), a fim de identificar processos de reciclagem existentes. De tal modo, neste estudo considerou-se como material reciclável, aquele que possui algum tipo de processo de reciclagem já estabelecido ou estudos onde os materiais possuem condições de serem reciclados. Efetuaram-se os cálculos por meio da razão entre o material com possibilidade de ser recuperado pelo peso de entrada de material. O cálculo da potencial taxa de reciclagem dos materiais está representado na Equação 1.

$$Tr = \frac{Mr}{Em} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

Tr = Taxa de reciclagem (%)

Mr = Material a ser recuperado (kg)

Em = Entrada de material (kg)

Os dados obtidos foram tabulados e transferidos para a Planilha 14 – Potencial taxa de reciclagem dos materiais, para a Planilha 15 – Potencial taxa de reciclagem dos componentes e para a Planilha 16 – Potencial taxa de reciclagem dos gabinetes.

Planilha 14 – Potencial taxa de reciclagem dos materiais.

Potencial taxa de reciclagem dos materiais		
Tipos de materiais	Massa média total (kg)	Potencial taxa de Reciclagem (%)
1 - Plásticos		
2 - Metal não ferroso		
3 - Metal ferroso		
4 - Materiais com substâncias de interesse		
5 - Materiais considerados perigosos		
6 - Fios e cabos		
7 - Outros materiais		
Totais		

Planilha 15 – Potencial taxa de reciclagem dos componentes.

Potencial taxa de reciclagem dos componentes				
Componente	Massa média total (kg)	Material reciclável (kg)	Material não reciclável (kg)	Potencial taxa de reciclagem (%)
1 - Drives de disquetes				
2 - Drives de CDs				
3 - Cabos IDEs				
4 - HDs				
5 - Coolers				
6 - Placas mãe				
7 - Fontes de energia				
8 - Tampas, corpos e outras partes				
Média				

Planilha 16 – Potencial taxa de reciclagem dos gabinetes.

Potencial taxa de reciclagem dos gabinetes				
Código do gabinete	Massa média total (kg)	Material reciclável (kg)	Material não reciclável (kg)	Potencial taxa de Reciclagem (%)
1				
2				
3				
4				
5				
Média				

A Figura 5 apresenta o fluxograma da metodologia utilizada para atender ao Objetivo 2 do presente estudo.

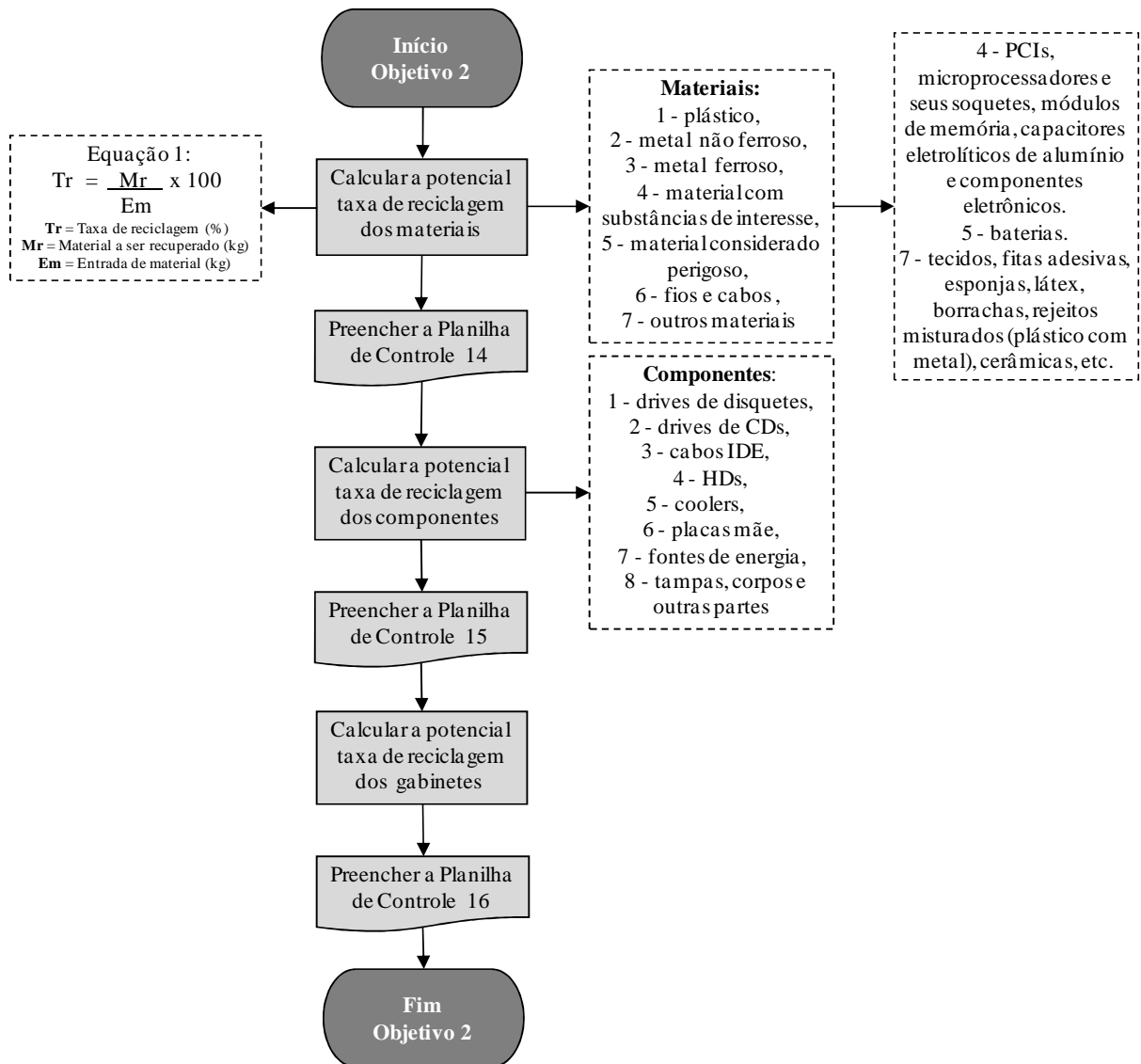


Figura 5 – Fluxograma da metodologia utilizada para atender ao Objetivo 2.

3.4 METODOLOGIA PARA ATENDER AO OBJETIVO 3 – EFETUAR A CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS QUE COMPÕE OS RESÍDUOS DE GABINETES DE MICROCOMPUTADORES DE MESA

Para efetuar a caracterização dos **elementos químicos** contidos nos gabinetes, seguiram-se 3 etapas, as quais foram realizadas nos laboratórios de Saneamento Ambiental, de Valorização de Materiais e de Mecânica dos Solos, todos na UNISINOS. As análises dos elementos químicos foram qualitativas e realizadas por Espectrometria de Fluorescência de Raios-X. Utilizou-se o equipamento Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X, modelo EDX 720, marca Shimadzu, com método de medição por energia dispersiva e faixa elementos da Tabela Periódica entre Na₁₁ e U₉₂. O EDX 720 utilizado comporta peças inteiras de até 300 mm x 150 mm para análises e analisa elementos inorgânicos.

Utilizou-se um Moinho Granulador Horizontal, marca SEIBT, modelo MGHS 7,5, composto de 2 navalhas extratoras e 3 navalhas rotoras, para cominuir os plásticos e as PCIs. O equipamento possui potência de 7,5 cv, 380 V, 870 RPM, 60 Hz, com bocal de alimentação de 205 mm x 275 mm e capacidade de 360 kg. Armazenaram-se as amostras conforme ABNT NBR 10007:2004 - Amostragem de resíduos sólidos. Para a homogeneização do material das PCIs cominuídas, utilizou-se um Misturador marca M.H, com motor trifásico de 380 V e 6,1 A.

Efetuuou-se a separação granulométrica do material cominuído das PCIs no Separador Granulométrico Marca Solotest, nº de série 4879, ref. 1202230, 220 V. Foram utilizadas 12 peneiras (#6, #12, #20, #30, #40, #50, #70, #100, #140, #200, #270 e #300 mesh) respectivamente (3,36; 1,68; 0,841; 0,595; 0,420; 0,297; 0,210; 0,149; 0,105; 0,074; 0,053; e 0,047 mm), uma tampa e um prato coletor.

Efetuuou-se a pesagem do material em uma balança Marca Balmak, modelo MP-50, com capacidade de carga de 50 kg e precisão de 10 g e uma balança de precisão Marca Bioprecisa. As planilhas de controle foram efetuadas no software Microsoft Office Excel 2007.

Etapa 1: na primeira etapa efetuou-se a caracterização dos elementos químicos das diversas peças dos oito componentes dos gabinetes. As peças foram analisadas inteiras no Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X. O equipamento apresenta os elementos químicos das quais as peças são compostas em três grupos: a) os elementos químicos majoritários (aqueles que encontram-se em quantidade superior a 50% na amostra analisada); b) os elementos químicos em menor quantidade (aqueles que se encontram entre 50% e 5%), e; c)

os elementos químicos traço (aqueles que se encontram em quantidade inferior a 5% na amostra). Após feitas as análises, transferiram-se todos os dados para a Planilha 17 - Caracterização dos elementos químicos dos componentes.

Planilha 17 – Caracterização dos elementos químicos dos componentes.

Componentes	Elementos químicos encontrados na análise de Fluorescência de Raios-X		
	Majoritários (>50%)	Menor quantidade (>5% x <50%)	Elementos Traço (<5%)
1 - Drives de disquetes			
2 - Drives de CDs			
3 - Cabos IDEs			
4 - HDs			
5 - Coolers			
6 - Placas mãe			
7 - Fontes de energia			
8 - Tampas, corpos e outras partes			

Etapa 2: nesta etapa efetuou-se a caracterização dos elementos químicos das placas mãe moídas. Esta etapa baseou-se na metodologia de [Veit \(2005\)](#). Efetuou-se a moagem das placas mãe de cada gabinete individualmente, bem como a caracterização dos elementos químicos de cada uma. Utilizou-se aproximadamente 10 g de material para a análise no Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X. Os dados obtidos foram transferidos para a Planilha 18 - Caracterização dos elementos químicos das placas mãe moídas.

Planilha 18 – Caracterização dos elementos químicos das placas mãe moídas.

Código do gabinete	Componente	Peça	Elementos encontrados na análise de Fluorescência de Raios-X		
			Majoritários (>50%)	Menor quantidade (>5% x <50%)	Elementos Traço (<5%)
1	Placa mãe	Placa moída			
2	Placa mãe	Placa moída			
3	Placa mãe	Placa moída			
4	Placa mãe	Placa moída			
5	Placa mãe	Placa moída			

Após efetuou-se a caracterização dos elementos químicos das placas mãe por granulometria. Todas as placas mãe cominuídas de todos os cinco gabinetes foram homogeneizadas no misturador por 30 minutos. Depois do material ser homogeneizado, efetuou-se a separação granulométrica da amostra, por meio do peneiramento do material no separador granulométrico. Efetuou-se a separação granulométrica em duas etapas (1ª etapa da peneira #6 a #50 e 2ª etapa da peneira #70 a #300). Agitou-se cada etapa por 30 minutos. Utilizou-se aproximadamente 10 g de cada material obtido na separação granulométrica de cada peneira para realização da análise no Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X. Os dados obtidos foram transferidos para a Planilha 19 - Caracterização dos elementos químicos das placas mãe por granulometria.

Planilha 19 – Caracterização dos elementos químicos das placas mãe por granulometria.

Componente	Peneiras (Mesh)	Elementos encontrados na análise de Fluorescência de Raios-X		
		Majoritários (>50%)	Menor quantidade (>5% x <50%)	Elementos Traço (<5%)
Placa mãe moída	#6			
	#12			
	#20			
	#30			
	#40			
	#50			
	#70			
	#100			
	#140			
	#200			
	#270			
#300				

Etapa 3: na terceira etapa efetuou-se a moagem dos plásticos anteriormente identificados, por tipo de plástico de cada gabinete individualmente. Após, efetuou-se a caracterização dos elementos químicos de cada tipo de plástico. Utilizou-se aproximadamente 10 g de cada amostra para a análise no Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X. Os dados obtidos foram transferidos para a Planilha 20 - Caracterização dos elementos químicos dos plásticos por tipo de plástico.

Planilha 20 – Caracterização dos elementos químicos dos plásticos por tipo de plástico.

Tipos de plásticos	Elementos encontrados na análise de Fluorescência de Raios-X		
	Majoritários (>50%)	Menor quantidade (>5% x <50%)	Elementos Traço (<5%)

Em seguida tabularam-se todos os resultados obtidos nas três etapas, assim concluiu-se o Objetivo 3 deste estudo. A Figura 6 apresenta o fluxograma da metodologia utilizada para atender ao Objetivo 3 deste estudo.

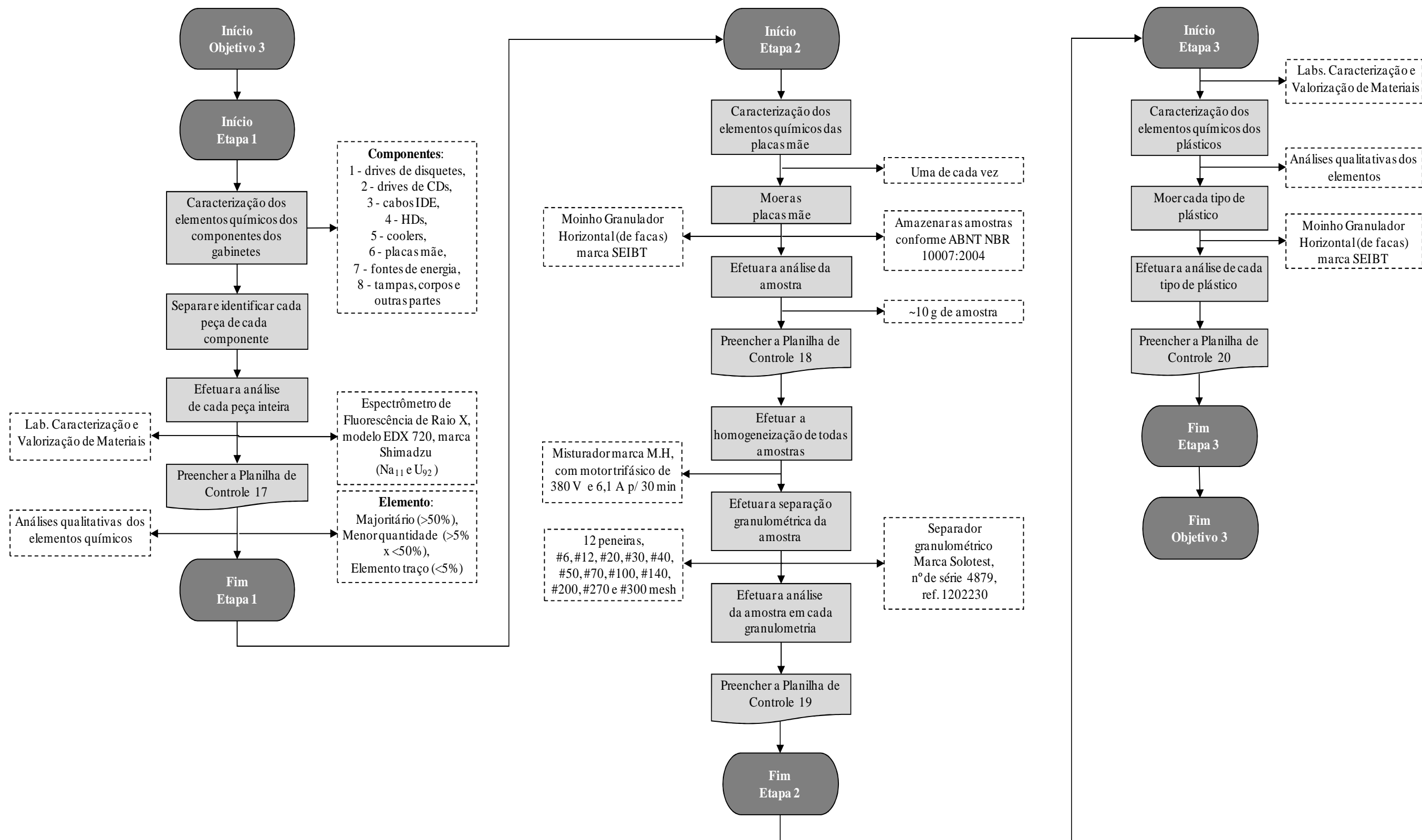


Figura 6 – Fluxograma da metodologia utilizada para atender ao Objetivo 3.

Após todos os dados serem tabulados, chegou-se a classificação de cada um dos oito componentes que constituem os gabinetes de microcomputadores de mesa, conforme sua periculosidade, assim, concluiu-se o Objetivo 4 deste estudo. A Figura 7 apresenta o fluxograma da metodologia utilizada para atender ao Objetivo 4 do presente estudo.

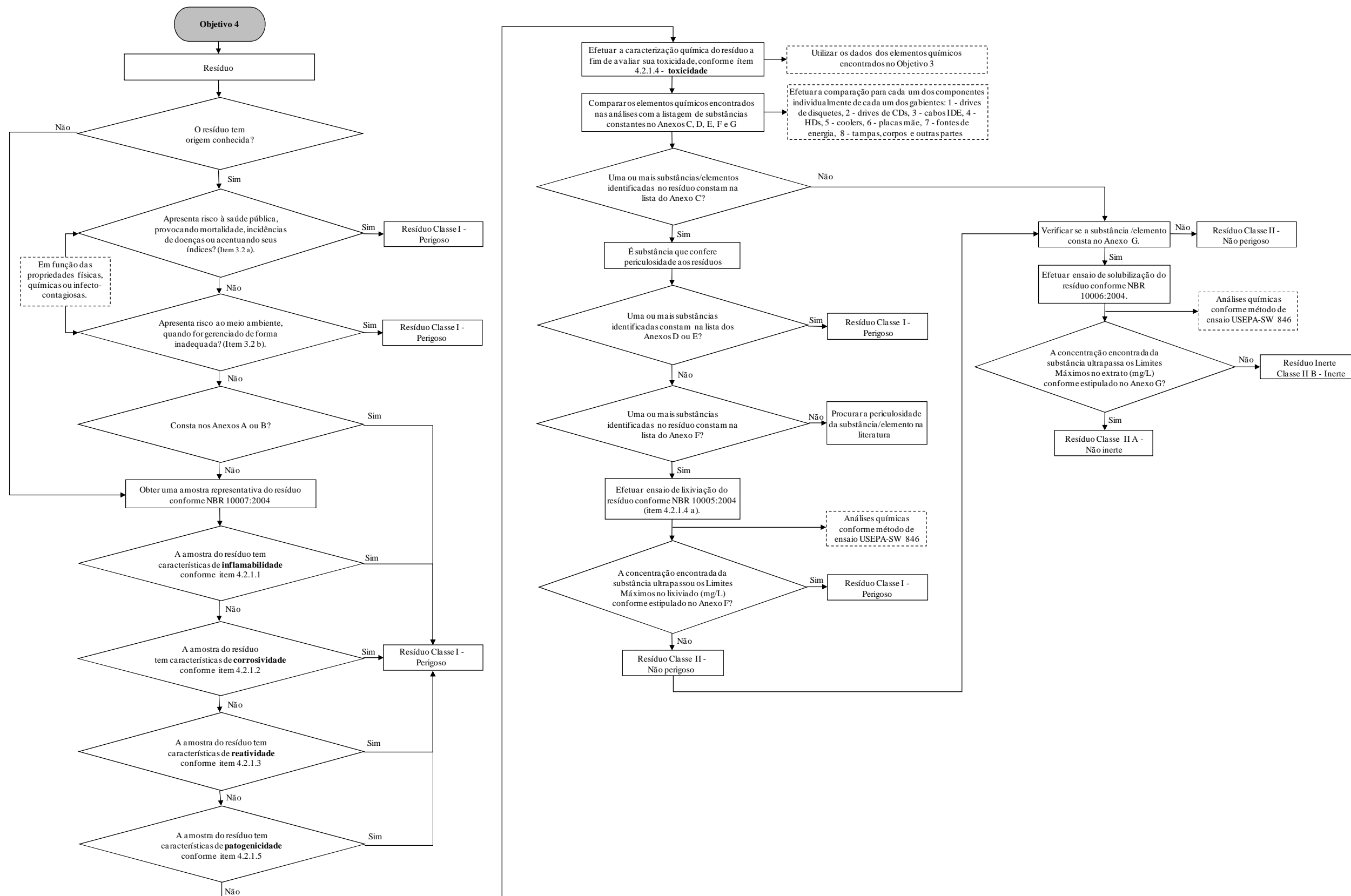


Figura 7 – Fluxograma da metodologia utilizada para atender ao Objetivo 4.

4 RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se os resultados e discussões individualmente de cada um dos quatro objetivos estudados. No item 4.1 apresentam-se os resultados do balanço de massa dos oito componentes dos gabinetes, bem como o balanço de massa de cada um dos sete grupos de materiais que compõe os gabinetes. No item 4.2 calculam-se as taxas de reciclagem dos componentes, bem como dos materiais e no item 4.3 apresentam-se os resultados da caracterização dos elementos químicos dos resíduos que compõe os gabinetes. No item 4.4 classificam-se os resíduos dos gabinetes conforme sua periculosidade.

4.1 RESULTADOS DO OBJETIVO 1 – EFETUAR O BALANÇO DE MASSA DOS RESÍDUOS DE GABINETES DE MICROS DE MESA

Efetuu-se a desmontagem de 52,81 kg de gabinetes de microcomputadores de mesa, todos do tipo horizontal, fabricante IBM, ano de fabricação 2002, de 5ª geração e processador tipo Pentium 4. Todas as amostras possuíam o mesmo tamanho (13,5 cm de altura x 42,5 cm de largura x 41,5 cm de comprimento). Após a pesagem das 5 amostras, verificou-se que o coeficiente de variação da massa foi de 1,6% ($CV = 1,6\%$), onde constatou-se uma alta homogeneidade das amostras. A massa média obtida das amostras estudadas foi de 10,56 kg. No estudo de [Hischier et al. \(2007\)](#) um gabinete de microcomputador de mesa com processador tipo Pentium 4, fabricado no ano de 2002 obteve a massa de 11,30 kg.

4.1.1 Balanço de massa dos componentes dos gabinetes

A massa média obtida para os componentes dos gabinetes foi de: drive de disquetes 0,40 kg, drive de CD 0,86 kg, cabos IDEs 0,14 kg, HD 0,47 kg e cooler 0,06 kg. Estes componentes representam 18,29% da massa média do gabinete. Obtiveram-se os seguintes valores para os demais componentes: placa mãe 1,10 kg, fonte de energia 1,27 kg, tampa 2,41 kg, corpo 2,69 kg e outras partes 1,16 kg. Estes componentes juntos representam 81,71% da massa média do gabinete. O tempo médio de desmontagem dos componentes foi de 9h.

A Tabela 6 apresenta os dados consolidados da massa dos componentes dos gabinetes. A Figura 8 apresenta a representatividade de cada componente na massa total dos gabinetes.

Tabela 6 – Massa dos componentes dos gabinetes.

Código do gabinete	Massa (kg)	Massa dos componentes dos gabinetes (kg)									
	Gabinete montado	Drive de disquetes	Drive de CD	Cabos IDEs	HD	Cooler	Placa mãe	Fonte de energia	Tampa do gabinete	Corpo	Outros
1	10,650	0,410	0,890	0,130	0,610	0,060	1,090	1,280	2,380	2,680	1,120
2	10,350	0,400	0,750	0,140	0,420	0,060	1,090	1,270	2,400	2,660	1,160
3	10,510	0,400	0,880	0,130	0,430	0,060	1,090	1,280	2,380	2,700	1,160
4	10,500	0,400	0,890	0,140	0,370	0,060	1,110	1,270	2,410	2,690	1,160
5	10,800	0,410	0,880	0,140	0,540	0,060	1,120	1,270	2,480	2,700	1,200
MÉDIA	10,562	0,404	0,858	0,136	0,474	0,060	1,100	1,274	2,410	2,686	1,160
DESVPADA	0,170	0,005	0,061	0,005	0,098	0,000	0,014	0,005	0,041	0,017	0,028
CV	1,6%	1,4%	7,1%	4,0%	20,7%	0,0%	1,3%	0,4%	1,7%	0,6%	2,4%

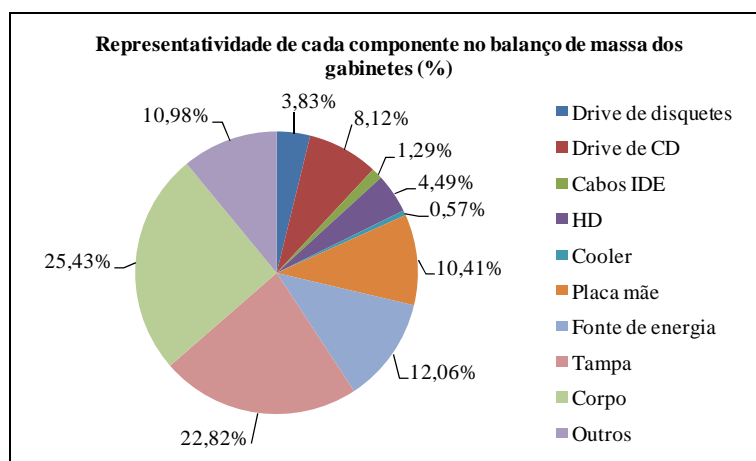


Figura 8 – Representatividade de cada componente no balanço de massa dos gabinetes.

4.1.1.1 Balanço de massa dos drives de disquetes

A massa média obtida do drive de disquetes foi de 0,404 kg. Após a desmontagem deste, obteve-se a seguinte massa dos sete grupos de materiais: 0,011 kg de plásticos, 0,009 kg de metais não ferrosos, 0,356 kg de metais ferrosos, 0,011 kg de materiais com substâncias de interesse (PCIs) e 0,017 kg de outros materiais (fitas adesivas, rejeitos misturados (plástico com metal), etc.). O metal ferroso é o material mais representativo neste componente, o qual representa 88,12%. Não foram encontrados materiais considerados perigosos, bem como fios e cabos neste componente. O tempo médio de desmontagem deste componente foi de 1h.

A Tabela 7 apresenta os dados consolidados da massa dos materiais dos drives de disquetes e a Figura 9 apresenta a representatividade de cada material na massa dos drives de disquetes. O modelo de drive de disquetes que foi desmontado está representado na Figura 10 e a Figura 11 mostra cada material segregado na desmontagem por grupo de material.

Tabela 7 – Massa dos materiais dos drives de disquetes.

Código do gabinete	Drive de disquetes (kg)	Massa dos materiais (kg)						
		Plásticos	Metal não ferroso	Metal ferroso	Materiais com substâncias de interesse	Materiais considerados perigosos	Fios e cabos	Outros materiais
1	0,410	0,012	0,008	0,360	0,012	0,000	0,000	0,018
2	0,400	0,010	0,009	0,350	0,013	0,000	0,000	0,018
3	0,400	0,011	0,009	0,350	0,010	0,000	0,000	0,020
4	0,400	0,010	0,010	0,350	0,010	0,000	0,000	0,020
5	0,410	0,010	0,010	0,370	0,010	0,000	0,000	0,010
MÉDIA	0,404	0,011	0,009	0,356	0,011	0,000	0,000	0,017

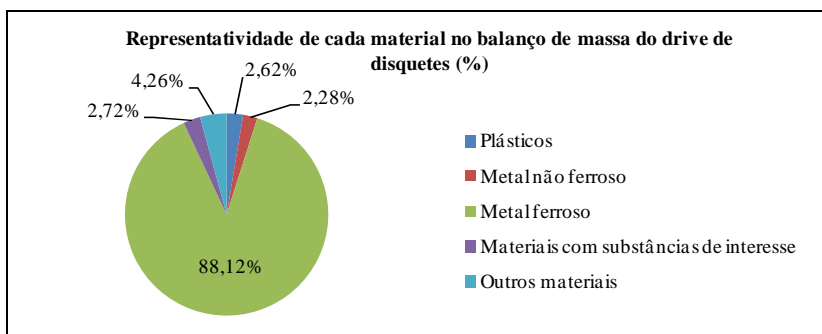


Figura 9 – Representatividade de cada material na massa do drive de disquetes.

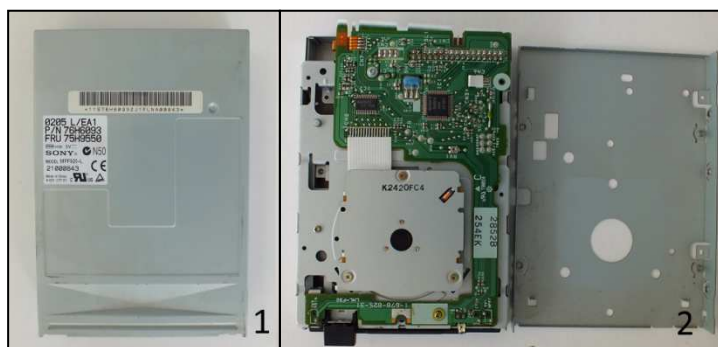


Figura 10 – Drive de disquetes montado. Medidas (LxCxA) 10,0 x 14,5 x 2,5 (cm). 1 – Vista de cima, 2 – Vista de baixo, 3 – Vista de frente.

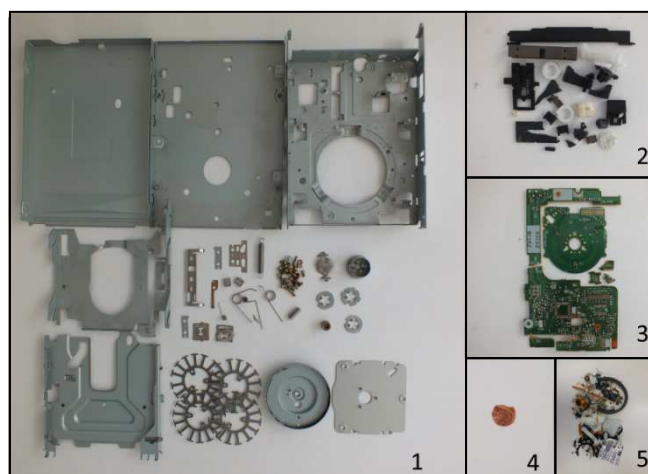


Figura 11 – Segregação do drive de disquetes por tipo de material: 1 – Metais ferrosos, 2 – Plásticos, 3 – Materiais com substâncias de interesse, 4 – Metais não ferrosos, 5 – Outros materiais.

4.1.1.2 Balanço de massa dos drives de CDs

A média de massa obtida do drive de CDs foi de 0,858 kg. Após a desmontagem deste, obteve-se a seguinte massa dos sete grupos de materiais: 0,195 kg de plásticos, 0,021 kg de metais não ferrosos, 0,551 kg de metais ferrosos, 0,074 kg de materiais com substâncias de interesse (PCIs, capacitores eletrolíticos de alumínio e componentes eletrônicos) e 0,017 kg de outros materiais (fitas adesivas, rejeitos misturados (plástico com metal), etc.). O metal ferroso é o material mais representativo neste componente, o qual representa 64,27%. Não foram encontrados materiais considerados perigosos, bem como fios e cabos neste componente. O tempo médio de desmontagem deste componente foi de 1h30min.

A Tabela 8 apresenta os dados consolidados da massa dos materiais dos drives de CDs e a Figura 12 apresenta a representatividade de cada material na massa dos drives de CDs. O modelo de drive de CDs que foi desmontado está representado na Figura 13 e a Figura 14 mostra cada material segregado na desmontagem por grupo de material.

Tabela 8 – Massa dos materiais dos drives de CDs.

Código do gabinete	Drive de CDs (kg)	Massa dos materiais (kg)						
		Plásticos	Metal não ferroso	Metal ferroso	Materiais com substâncias de interesse	Materiais considerados perigosos	Fios e cabos	Outros materiais
1	0,890	0,170	0,030	0,597	0,070	0,000	0,000	0,023
2	0,750	0,197	0,030	0,440	0,070	0,000	0,000	0,013
3	0,880	0,180	0,010	0,600	0,080	0,000	0,000	0,010
4	0,890	0,240	0,013	0,550	0,070	0,000	0,000	0,017
5	0,880	0,190	0,020	0,570	0,080	0,000	0,000	0,020
MÉDIA	0,858	0,195	0,021	0,551	0,074	0,000	0,000	0,017

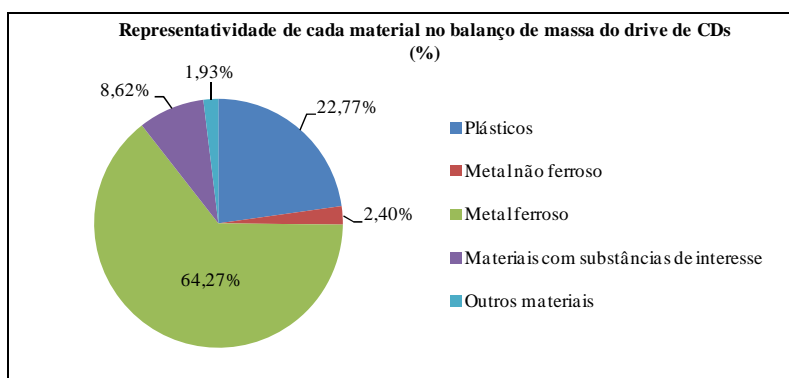


Figura 12 – Representatividade de cada material na massa do drive de CDs.

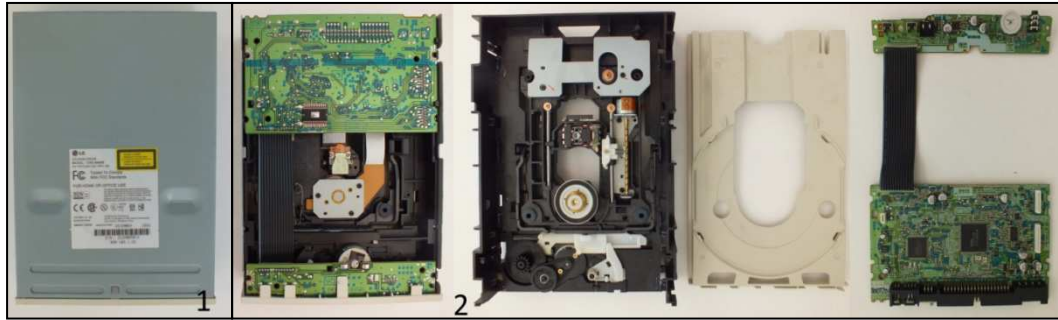


Figura 13 – 1 - Drive de CDs montado. Medidas (LxCxA) 14,5 x 19,5 x 4,5 (cm). 2 – Drive de CD semi desmontado.

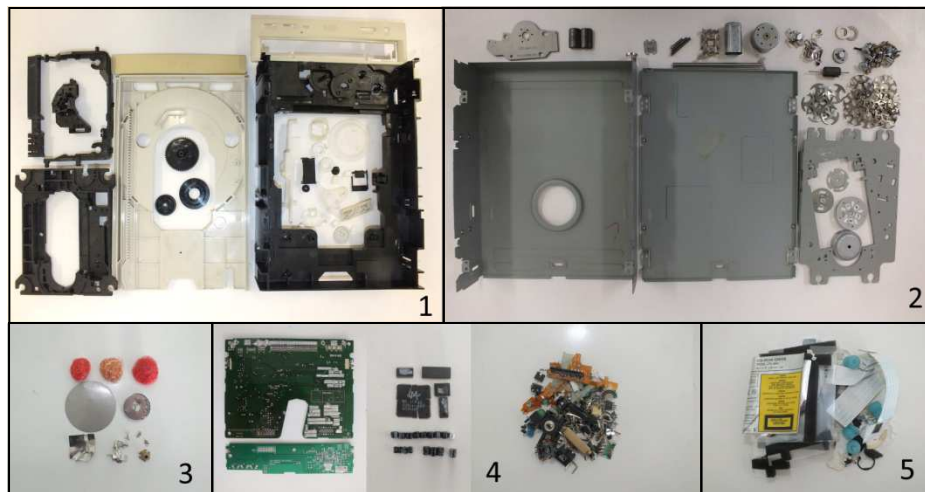


Figura 14 – Segregação do drive de CDs por tipo de material: 1 – Plásticos, 2 – Metais ferrosos, 3 – Metais não ferrosos, 4 – Materiais com substâncias de interesse, 5 – Outros materiais.

4.1.1.3 Balanço de massa dos cabos IDEs

A média de massa obtida dos cabos IDEs foi de 0,136 kg. Após a desmontagem deste, obteve-se a seguinte massa dos sete grupos de materiais: 0,036 kg de plásticos, 0,010 kg de metais não ferrosos, 0,090 kg de fios e cabos. O grupo de fios e cabos é o material mais representativo neste componente, o qual representa 66,18%. Não foram encontrados metais ferrosos, materiais com substâncias de interesse, materiais considerados perigosos, bem como outros materiais neste componente. O tempo médio de desmontagem deste componente foi de 20min.

A Tabela 9 apresenta os dados consolidados da massa dos materiais dos cabos IDEs e a Figura 15 apresenta a representatividade de cada material na massa dos cabos IDEs. O modelo de cabos IDEs que foi desmontado, bem como cada material segregado na desmontagem por grupo de material está representado na Figura 16.

Tabela 9 – Massa dos materiais dos cabos IDEs.

Código do gabinete	Cabos IDEs (kg)	Massa dos materiais (kg)						
		Plásticos	Metal não ferroso	Metal ferroso	Materiais com substâncias de interesse	Materiais considerados perigosos	Fios e cabos	Outros materiais
1	0,130	0,030	0,010	0,000	0,000	0,000	0,090	0,000
2	0,140	0,040	0,010	0,000	0,000	0,000	0,090	0,000
3	0,130	0,030	0,010	0,000	0,000	0,000	0,090	0,000
4	0,140	0,040	0,010	0,000	0,000	0,000	0,090	0,000
5	0,140	0,040	0,010	0,000	0,000	0,000	0,090	0,000
MÉDIA	0,136	0,036	0,010	0,000	0,000	0,000	0,090	0,000

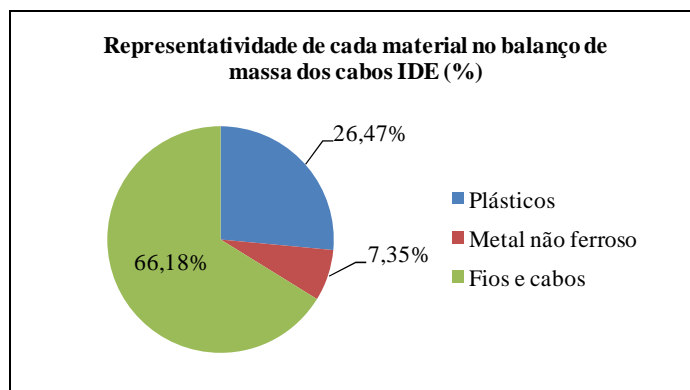


Figura 15 – Representatividade de cada material na massa dos cabos IDEs.

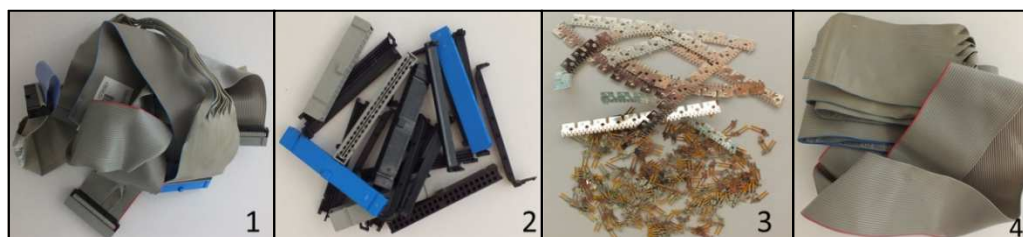


Figura 16 – 1 - Cabos IDEs montados. Segregação dos cabos IDEs por tipo de material: 2 – Plásticos, 3 – Metais não ferrosos, 4 – Fios e cabos.

4.1.1.4 Balanço de massa dos HDs

A média de massa obtida do HD foi de 0,47 kg. Após a desmontagem deste, obteve-se a seguinte massa dos sete grupos de materiais: 0,010 kg de plásticos, 0,318 kg de metais não ferrosos, 0,114 kg de metais ferrosos, 0,014 kg de materiais com substâncias de interesse (PCI) e 0,018 kg de outros materiais (fitas adesivas, látex, rejeitos misturados (plástico com metal), etc.). O metal não ferroso é o material mais representativo neste componente, o qual representa 67,09%. Não foram encontrados materiais considerados perigosos, bem como fios e cabos neste componente. O tempo médio de desmontagem deste componente foi de 20min. A Tabela 10 apresenta os dados consolidados da massa dos materiais dos HDs e a Figura 17 apresenta a representatividade de cada material na massa dos HDs. O modelo de HD que foi desmontado está representado na Figura 18 e a Figura 19 mostra cada material segregado na desmontagem por grupo de material.

Tabela 10 – Massa dos materiais dos HDs.

Código do gabinete	HD (kg)	Massa dos materiais (kg)						
		Plásticos	Metal não ferroso	Metal ferroso	Materiais com substâncias de interesse	Materiais considerados perigosos	Fios e cabos	Outros materiais
1	0,610	0,020	0,330	0,220	0,020	0,000	0,000	0,020
2	0,420	0,005	0,330	0,050	0,015	0,000	0,000	0,020
3	0,430	0,004	0,330	0,060	0,016	0,000	0,000	0,020
4	0,370	0,010	0,260	0,080	0,010	0,000	0,000	0,010
5	0,540	0,010	0,340	0,160	0,010	0,000	0,000	0,020
MÉDIA	0,474	0,010	0,318	0,114	0,014	0,000	0,000	0,018

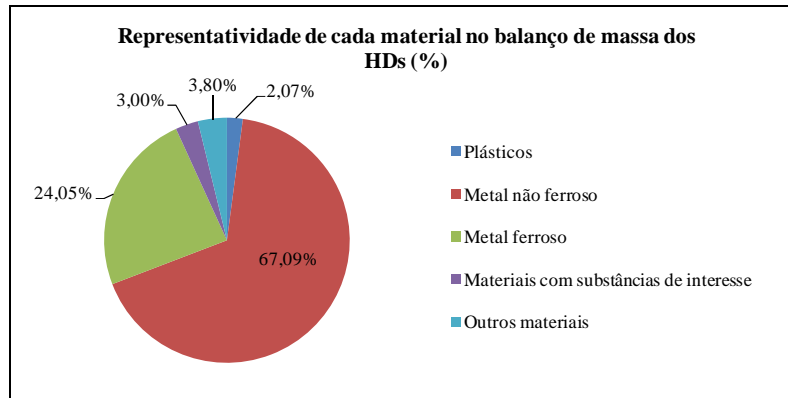


Figura 17 – Representatividade de cada material na massa dos HDs.

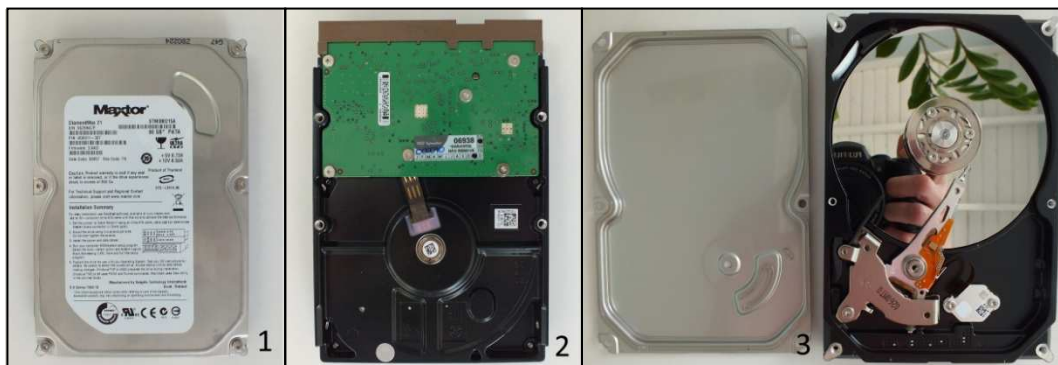


Figura 18 – HD montado. Medidas (LxCxA) 10,0 x 14,5 x 2,5 (cm). 1 – Vista de cima, 2 – Vista de baixo, 3 – HD aberto.



Figura 19 – Segregação do HD por tipo de material: 1 – Metais não ferrosos, 2 – Metais ferrosos, 3 – Plásticos, 4 – Materiais com substâncias de interesse, 5 – Outros materiais.

4.1.1.5 Balanço de massa dos coolers

A média de massa obtida do cooler foi de 0,06 kg. Após a desmontagem deste, obteve-se a seguinte massa dos sete grupos de materiais: 0,028 kg de plásticos, 0,003 kg de metais não ferrosos, 0,013 kg de metais ferrosos, 0,002 kg de materiais com substâncias de interesse (PCI), 0,004 kg de fios e cabos e 0,010 kg de outros materiais (fitas adesivas, rejeitos misturados (plástico com metal), etc.). O plástico é o material mais representativo neste componente, o qual representa 47,33%. Não foram encontrados materiais considerados perigosos neste componente. O tempo médio de desmontagem deste componente foi de 20min.

A Tabela 11 apresenta os dados consolidados da massa dos materiais dos coolers e a Figura 20 apresenta a representatividade de cada material na massa dos coolers. O modelo de cooler que foi desmontado está representado na Figura 21 e a Figura 22 mostra cada material segregado na desmontagem por grupo de material.

Tabela 11 – Massa dos materiais dos coolers.

Código do gabinete	Cooler (kg)	Massa dos materiais (kg)						
		Plásticos	Metal não ferroso	Metal ferroso	Materiais com substâncias de interesse	Materiais considerados perigosos	Fios e cabos	Outros materiais
1	0,060	0,029	0,003	0,013	0,002	0,000	0,004	0,009
2	0,060	0,029	0,003	0,013	0,002	0,000	0,004	0,009
3	0,060	0,030	0,002	0,011	0,002	0,000	0,004	0,011
4	0,060	0,027	0,003	0,013	0,001	0,000	0,004	0,012
5	0,060	0,027	0,003	0,013	0,002	0,000	0,004	0,011
MÉDIA	0,060	0,028	0,003	0,013	0,002	0,000	0,004	0,010

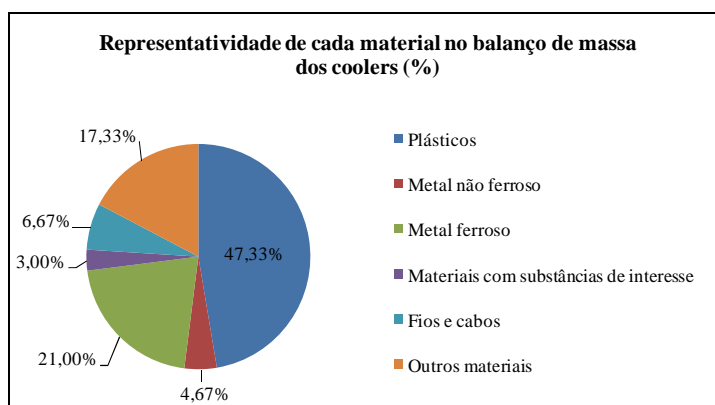


Figura 20 – Representatividade de cada material na massa dos coolers.



Figura 21 – 1 - Cooler montado. Medidas (LxCxA) 5,0 x 5,0 x 1,5 (cm). 2 – Cooler desmontado.



Figura 22 – Segregação do cooler por tipo de material. 1 – Plásticos, 2 – Metais não ferrosos, 3 – Metais ferrosos, 4 – Materiais com substâncias de interesse, 5 – Fios e cabos, 6 – Outros materiais.

4.1.1.6 Balanço de massa das placas mãe

A média de massa obtida da placa mãe foi de 1,10 kg. Após a desmontagem desta, obteve-se a seguinte massa dos sete grupos de materiais: 0,158 kg de plásticos, 0,482 kg de metais não ferrosos, 0,081 kg de metais ferrosos, 0,351 kg de materiais com substâncias de interesse (PCIs, microprocessadores e seus soquetes, módulos de memória, capacitores eletrolíticos de alumínio e componentes eletrônicos), 0,003 kg de materiais considerados perigosos (bateria), 0,002 kg de fios e cabos e 0,023 kg de outros materiais (fitas adesivas, esponjas, látex, borrachas, rejeitos misturados (plástico com metal), etc.). O metal não ferroso é o material mais representativo neste componente, o qual representa 43,82%. O tempo médio de desmontagem deste componente foi de 2h45min.

A Tabela 12 apresenta os dados consolidados da massa dos materiais das placas mãe e a Figura 23 apresenta a representatividade de cada material na massa destas placas. O modelo de placa mãe que foi desmontado está representado na Figura 24 e a Figura 25 mostra cada material segregado na desmontagem por grupo de material.

Tabela 12 – Massa dos materiais das placas mãe.

Código do gabinete	Placa mãe (kg)	Massa dos materiais (kg)						
		Plásticos	Metal não ferroso	Metal ferroso	Materiais com substâncias de interesse	Materiais considerados perigosos	Fios e cabos	Outros materiais
1	1,090	0,160	0,480	0,081	0,341	0,003	0,002	0,023
2	1,090	0,150	0,480	0,070	0,365	0,003	0,002	0,020
3	1,090	0,160	0,480	0,082	0,340	0,003	0,002	0,023
4	1,110	0,160	0,490	0,080	0,355	0,003	0,002	0,020
5	1,120	0,160	0,480	0,090	0,355	0,003	0,002	0,030
MÉDIA	1,100	0,158	0,482	0,081	0,351	0,003	0,002	0,023

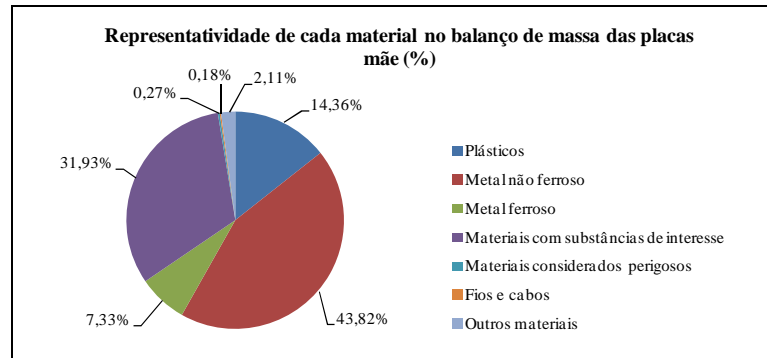


Figura 23 – Representatividade de cada material na massa das placas mãe.

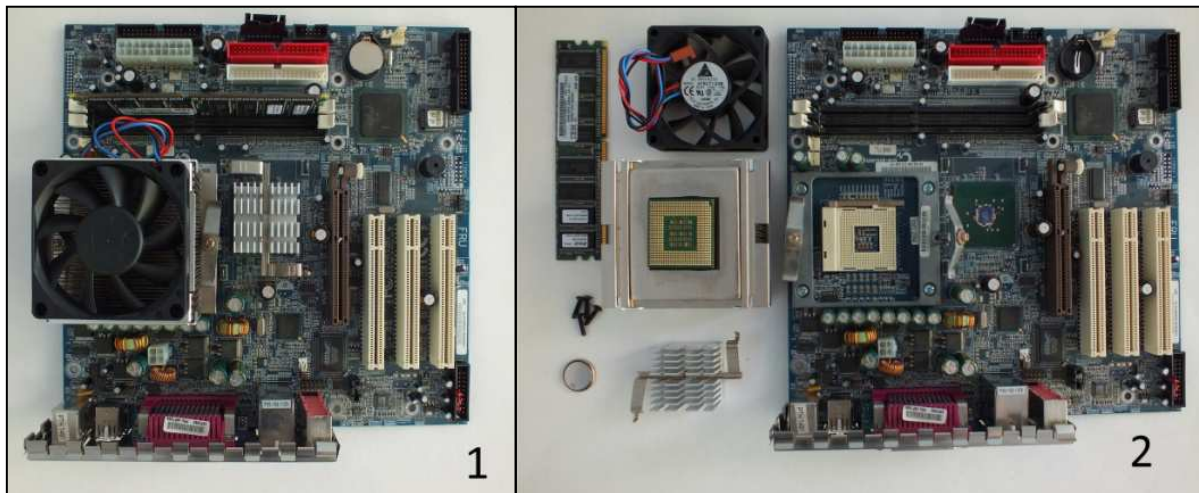


Figura 24 – 1 - Placa-mãe montada. Medidas (LxCxA) 24,5 x 23,5 x 6,5 (cm). 2 – Placa mãe semi-desmontada.

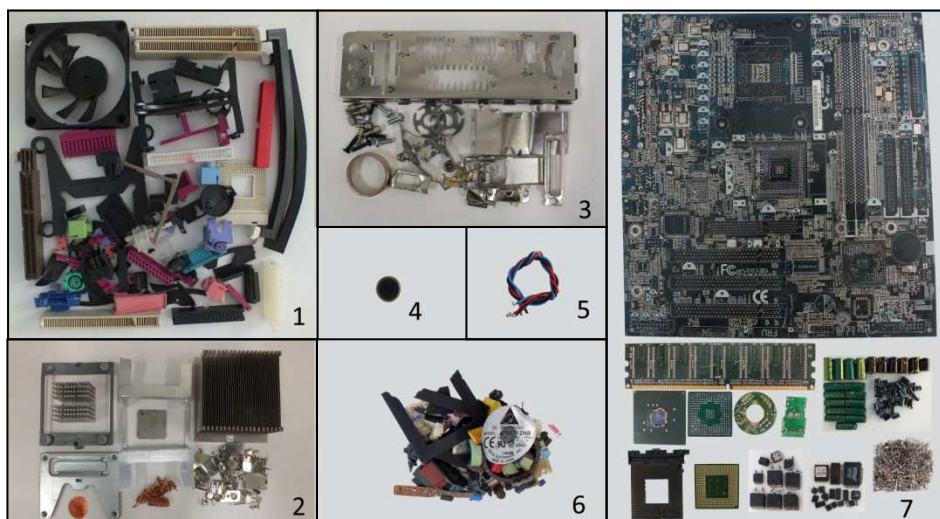


Figura 25 – Segregação da placa mãe por tipo de material. 1 – Plásticos, 2 – Metais não ferrosos, 3 – Metais ferrosos, 4 – Materiais considerados perigosos, 5 – Fios e cabos, 6 – Outros materiais, 7 – Materiais com substâncias de interesse.

4.1.1.7 Balanço de massa das fontes de energia

A média de massa obtida da fonte foi de 1,27 kg. A fonte é composta de carcaça externa, um cooler e uma PCI. Após a desmontagem desta, obteve-se a seguinte massa dos sete grupos de materiais: 0,050 kg de plásticos, 0,123 kg de metais não ferrosos, 0,522 kg de metais ferrosos, 0,179 kg de materiais com substâncias de interesse (PCIs, capacitores eletrolíticos de alumínio e componentes eletrônicos), 0,170 kg de fios e cabos e 0,230 kg de outros materiais (tecidos, fitas adesivas, esponjas, látex, borrachas, rejeitos misturados (plástico com metal), cerâmicas, etc.). O metal ferroso é o material mais representativo neste componente, o qual representa 40,97%. Não foram encontrados materiais considerados perigosos neste componente. O tempo médio de desmontagem deste componente foi de 2h.

A Tabela 13 apresenta os dados consolidados da massa dos materiais das fontes e a Figura 26 apresenta a representatividade de cada material na massa deste componente. O modelo de fonte que foi desmontada está representado na Figura 27 e a Figura 28 mostra cada material segregado na desmontagem por grupo de material.

Tabela 13 – Massa dos materiais das fontes de energia.

Código do gabinete	Fonte de energia (kg)	Massa dos materiais (kg)						
		Plásticos	Metal não ferroso	Metal ferroso	Materiais com substâncias de interesse	Materiais considerados perigosos	Fios e cabos	Outros materiais
1	1,280	0,050	0,113	0,520	0,193	0,000	0,170	0,234
2	1,270	0,050	0,113	0,510	0,172	0,000	0,170	0,255
3	1,280	0,050	0,133	0,530	0,178	0,000	0,170	0,219
4	1,270	0,050	0,123	0,530	0,178	0,000	0,170	0,219
5	1,270	0,050	0,133	0,520	0,173	0,000	0,170	0,224
MÉDIA	1,274	0,050	0,123	0,522	0,179	0,000	0,170	0,230

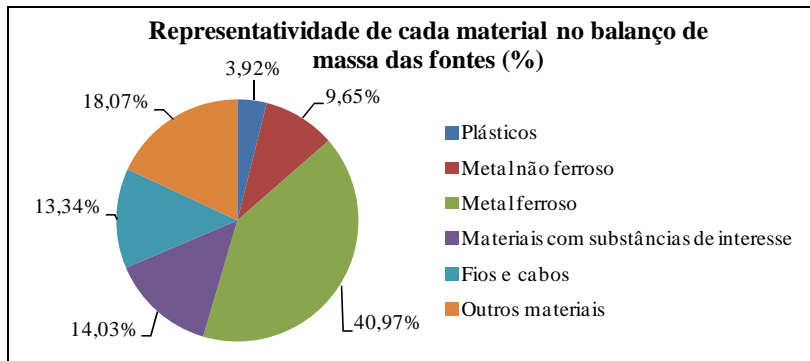


Figura 26 – Representatividade de cada material na massa das fontes.

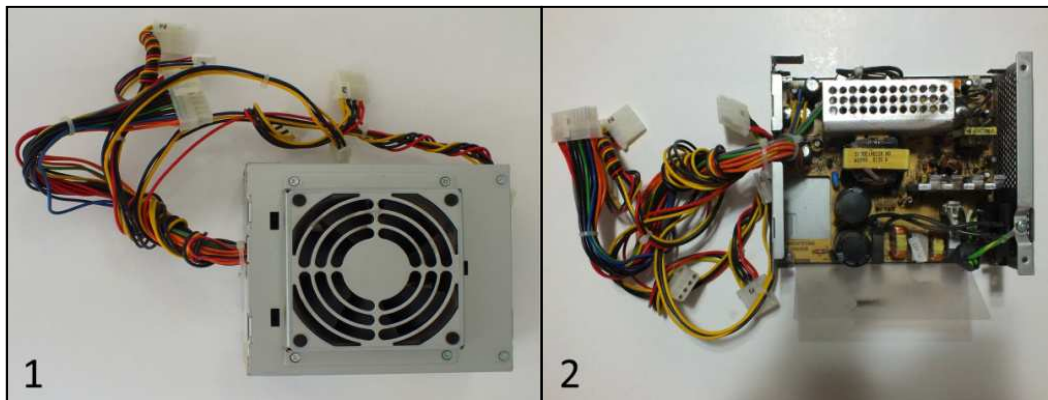


Figura 27 – 1 - Fonte montada. Medidas (LxCxA) 13,0 x 15,0 x 6,5 (cm). 2 – Fonte semi desmontada.

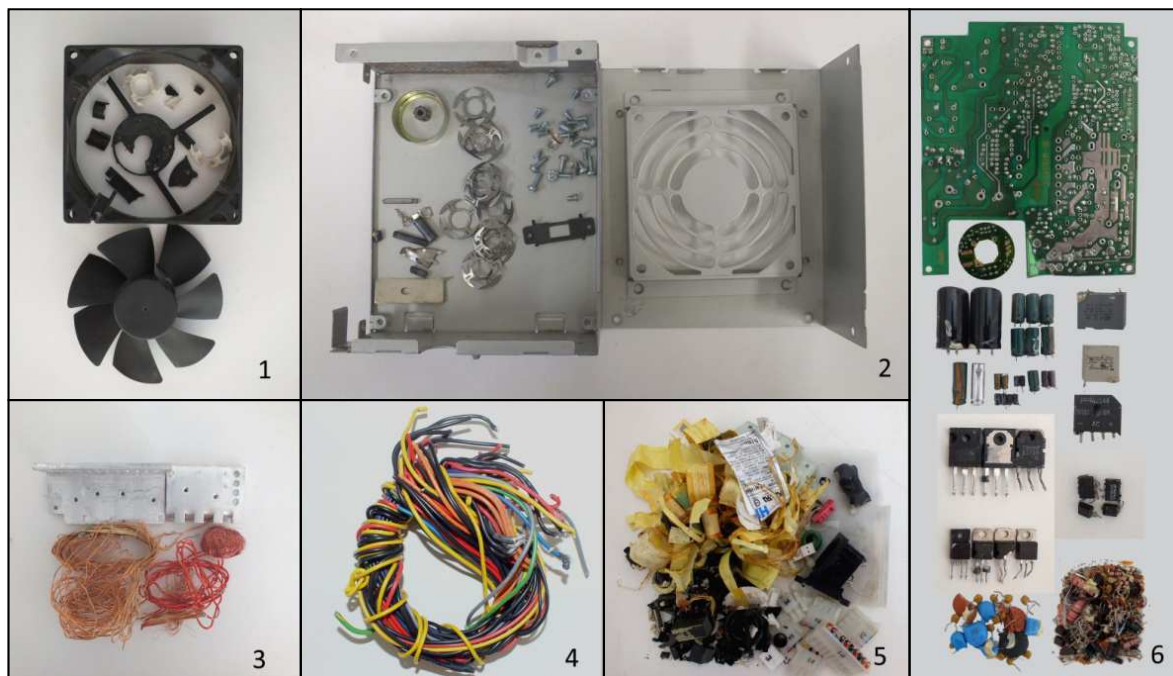


Figura 28 – Segregação fonte por tipo de material. 1 – Plásticos, 2 – Metais não ferrosos, 3 – Metais ferrosos, 4 – Fios e cabos, 5 – Outros materiais, 6 – Materiais com substâncias de interesse.

4.1.1.8 Balanço de massa da tampa, corpo e outras partes

A média de massa obtida da tampa foi de 2,41 kg, do corpo 2,69 kg e das outras partes 1,16 kg, o qual totaliza 6,26 kg. Estes três componentes representam 59,23% da massa de todo o gabinete. Após a desmontagem destes componentes, obteve-se a seguinte massa dos sete grupos de materiais: 0,240 kg de plásticos, 5,866 kg de metais não ferrosos, 0,062 kg de metais ferrosos, 0,052 kg de fios e cabos e 0,037 kg de outros materiais (tecidos, fitas adesivas, esponjas, látex, borrachas, rejeitos misturados (plástico com metal), etc.). O metal não ferroso é o material mais representativo neste componente, o qual representa 93,77%. Não foram encontrados materiais com substâncias de interesse e materiais considerados perigosos nestes componentes. O tempo médio de desmontagem deste componente foi de 50min.

A Tabela 14 apresenta os dados consolidados da massa dos materiais das tampas, corpos e outras partes e a Figura 29 apresenta a representatividade de cada material na massa dos componentes. A Figura 30 mostra cada material segregado na desmontagem por grupo de material.

Tabela 14 – Massa dos materiais das tampas, corpos e outras partes.

Código do gabinete	Tampa do gabinete (kg)	Corpo (kg)	Outras partes (kg)	Massa dos materiais (kg)						
				Plásticos	Metal não ferroso	Metal ferroso	Materiais com substâncias de interesse	Materiais considerados perigosos	Fios e cabos	Outros materiais
1	2,380	2,680	1,120	0,228	5,830	0,038	0,000	0,000	0,048	0,036
2	2,400	2,660	1,160	0,230	5,850	0,070	0,000	0,000	0,040	0,030
3	2,380	2,700	1,160	0,230	5,850	0,080	0,000	0,000	0,050	0,030
4	2,410	2,690	1,160	0,230	5,870	0,060	0,000	0,000	0,060	0,040
5	2,480	2,700	1,200	0,280	5,930	0,060	0,000	0,000	0,060	0,050
MÉDIA	2,410	2,686	1,160	0,240	5,866	0,062	0,000	0,000	0,052	0,037

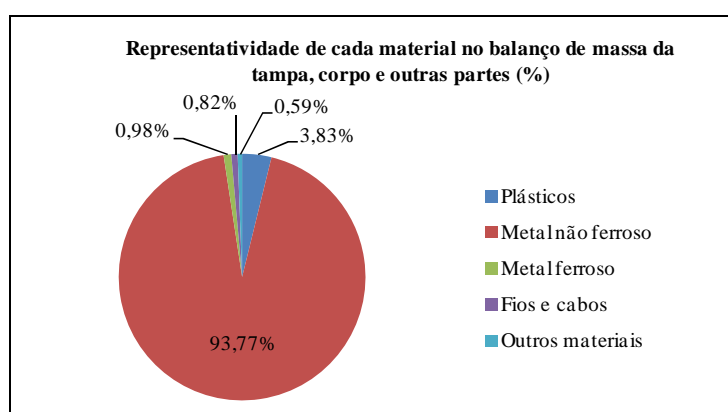


Figura 29 – Representatividade de cada material na massa da tampa, corpo e outros componentes.

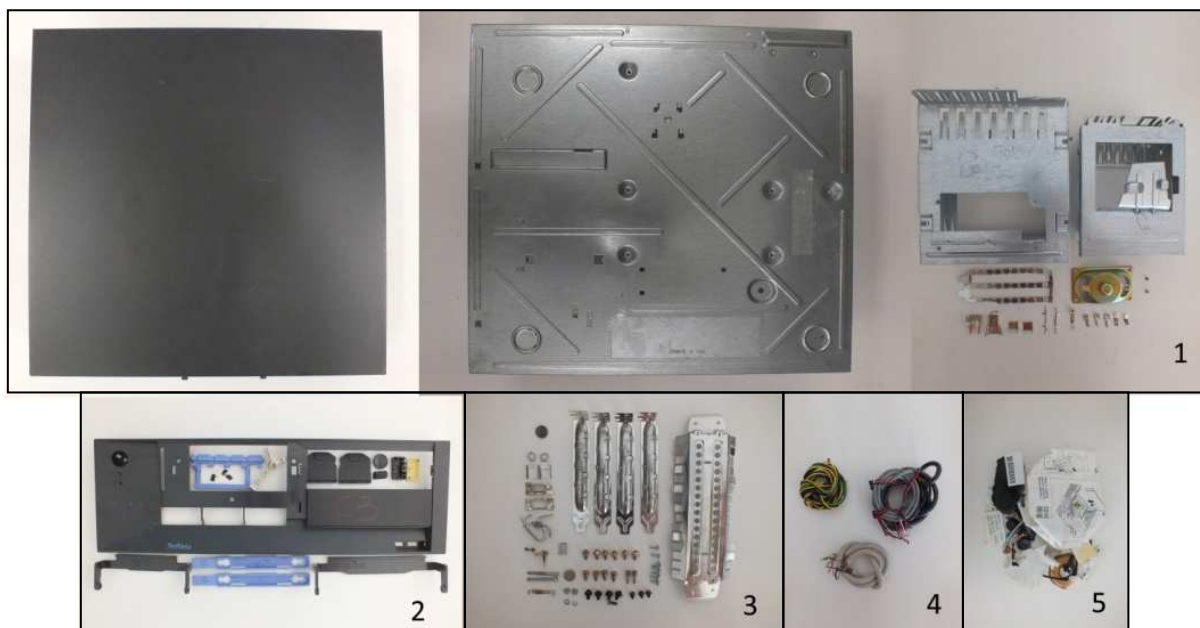


Figura 30 – Segregação do corpo, tampa e outros componentes por tipo de material. 1 – Metais não ferrosos, 2 – Plásticos, 3 – Metais ferrosos, 4 – Fios e cabos, 5 – Outros materiais.

4.1.2 Balanço de massa total dos materiais dos gabinetes

Neste estudo obteve-se para os gabinetes com média de massa de 10,56 kg: 6,89% de plásticos, 64,68% de metais não ferrosos, 16,08% de metais ferrosos, 5,97% de materiais com substâncias de interesse (PCIs, microprocessadores e seus soquetes, módulos de memória, capacitores eletrolíticos de alumínio e componentes eletrônicos), 0,03% de materiais considerados perigosos (bateria), 3,01% de fios e cabos e 3,34% de outros materiais (tecidos, fitas adesivas, esponjas, látex, borrachas, rejeitos misturados (plástico com metal), cerâmicas, etc.).

A Tabela 15 apresenta os dados consolidados da massa dos gabinetes por tipo de material. A Figura 31 apresenta a representatividade de cada material na massa dos gabinetes.

Tabela 15 – Massa dos gabinetes por tipo de material.

Código do gabinete	Gabinete total (kg)	Massa dos gabinetes por tipo de material (kg)						
		Plásticos	Metal não ferroso	Metal ferroso	Materiais com substâncias de interesse	Materiais considerados perigosos	Fios e cabos	Outros materiais
1	10,650	0,699	6,804	1,829	0,638	0,003	0,314	0,363
2	10,350	0,711	6,825	1,503	0,637	0,003	0,306	0,365
3	10,510	0,695	6,824	1,713	0,626	0,003	0,316	0,333
4	10,500	0,767	6,779	1,663	0,624	0,003	0,326	0,338
5	10,800	0,767	6,926	1,783	0,630	0,003	0,326	0,365
MÉDIA	10,562	0,728	6,832	1,698	0,631	0,003	0,318	0,353

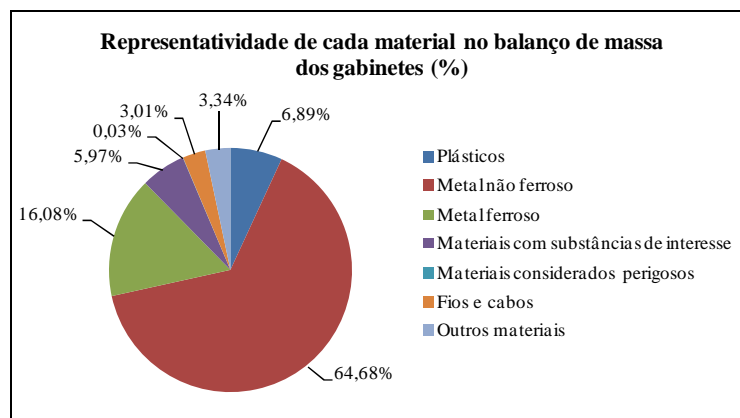


Figura 31 – Representatividade de cada material na massa dos gabinetes.

Os resultados obtidos neste estudo foram comparados com os resultados encontrados no estudo de [Hischier et al. \(2007\)](#), o qual desmontou manualmente um gabinete de microcomputador de mesa da mesma marca e ano de fabricação. Pode-se inferir que neste estudo, efetuou-se um desmantelamento manual mais minucioso, onde se conseguiu melhor separação dos materiais. Com isso reduziu-se a quantidade de outros materiais (tecidos, fitas adesivas, esponjas, látex, borrachas, rejeitos misturados (plástico com metal), cerâmicas, etc.) em 84,4%. Neste estudo o grupo de materiais com substâncias de interesse, que são os capacitores eletrolíticos de alumínio, os microprocessadores e seus soquetes, as PCIs (sem os componentes soldados), os módulos de memória e os componentes eletrônicos de todos os oito componentes foram agrupados, a fim de se obter um grupo com maior valor agregado. No estudo de [Hischier et al. \(2007\)](#) a PCI é referente unicamente à placa-mãe, com todos os seus componentes agrupados soldados. Sustenta-se tal afirmação devido ao fato de que a massa média da placa mãe montada, obtida neste estudo, foi de 1,04 kg.

Outra situação a ser relatada é que o estudo de [Hischier et al. \(2007\)](#) obteve 0,46 kg de metais não ferrosos e 6,99 kg de metais ferrosos. Neste estudo obteve-se 6,83 kg de metais não ferrosos e 1,69 kg de metais ferrosos. Esta diferença pode ser justificada devido ao fato que os metais deste estudo foram analisados quimicamente, a fim de identificar seus elementos químicos majoritários, assim conseguiu-se uma melhor classificação dos materiais.

4.1.3 Balanço de massa dos plásticos dos gabinetes por tipo de plástico

Os plásticos representam a massa média de 0,728 kg dos gabinetes, ou seja, 6,89% da massa total, destes 45,14% são plásticos com identificação e 54,86% são plásticos sem identificação. [Martinho et al. \(2012\)](#) indica que gabinetes de computadores não têm conteúdo de plásticos superiores a 10% da massa total, neste estudo o conteúdo de plásticos obtido foi de 6,89%.

Pode-se perceber que os plásticos sem identificação correspondem a maior massa dos plásticos dos gabinetes, mas essa diferença é menor que 10% da massa total. A ausência da identificação dos tipos de plásticos na triagem manual dificulta o gerenciamento destes resíduos. Nota-se também que no ano de fabricação dos gabinetes deste estudo (2002), já havia uma preocupação com a identificação dos plásticos, a fim de facilitar o gerenciamento destes resíduos.

Para efetuar a reciclagem de materiais plásticos é exigida a classificação de acordo com o seu material constituinte. Atualmente existem várias técnicas para identificação dos diversos tipos de plásticos, onde se podem citar os testes de densidade e solubilidade, as análises de calorimetria diferencial de varredura, de espectroscopia por infravermelho e análise térmica diferencial, dentre outras. Também são encontrados no mercado equipamentos portáteis (miROSpark), em que é possível identificar os plásticos por meio de pistolas de medição que são simplesmente pressionadas para análise da amostra. A Tabela 16 apresenta os dados da massa dos plásticos dos gabinetes e a Figura 32 a representatividade dos plásticos nos gabinetes.

Tabela 16 – Massa dos plásticos dos gabinetes.

Código do gabinete	Gabinete total (kg)	Massa dos plásticos dos gabinetes					
		Plásticos total (kg)	Presença no gabinete (%)	Plásticos com identificação (kg)	Presença no gabinete (%)	Plásticos sem identificação (kg)	Presença no gabinete (%)
1	10,650	0,699	6,56%	0,290	2,72%	0,409	3,84%
2	10,350	0,711	6,87%	0,330	3,19%	0,380	3,67%
3	10,510	0,695	6,61%	0,290	2,76%	0,405	3,85%
4	10,500	0,767	7,30%	0,380	3,62%	0,387	3,69%
5	10,800	0,767	7,10%	0,350	3,24%	0,417	3,86%
MÉDIA	10,562	0,728	6,89%	0,328	3,11%	0,400	3,78%

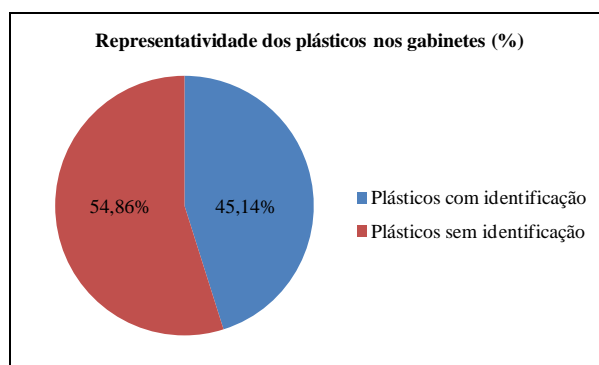


Figura 32 – Representatividade dos plásticos nos gabinetes.

Os plásticos com identificação representam a massa média de 0,328 kg dos gabinetes (Tabela 16). Destes, 52,96% são plásticos ABS, 19,56% são blendas ABS+PC, 14,51% são blendas PS+PPE e 12,97% são blendas ABS+PBT. Nos gabinetes 1, 3 e 5 não foi encontrada a blenda ABS+PBT e nos gabinetes 2 e 4 não foi encontrada a blenda PS+PPE.

Martinho et al. (2012) obtiveram 45% de plásticos ABS, o qual indica que este plástico é o predominante em gabinetes de microcomputadores nos dois estudos. Para o ABS+PC obtiveram 23%, o qual indica que este é o segundo plástico predominante. Os 32% de plásticos (PS, HIPS, SB, PPO, PC, PVC, PA, PBT, PE, PCPT, e PO) restantes, encontrados no estudo de Martinho et al. (2012) não foram identificados neste estudo. Logo, pode-se inferir que estes plásticos se encontram nos plásticos sem identificação deste estudo. A Tabela 17 apresenta a massa dos tipos de plásticos com identificação dos gabinetes e a Figura 33 a representatividade de cada tipo de plástico no total de plásticos identificados.

Tabela 17 – Massa dos plásticos dos gabinetes por tipo.

Código do gabinete	Plásticos identificados total (kg)	Massa dos plásticos por tipo de plástico							
		Plástico ABS (kg)	Presença no gabinete (%)	Plástico ABS+PC (kg)	Presença no gabinete (%)	Plástico ABS+PBT (kg)	Presença no gabinete (%)	Plástico PS+PPE (kg)	Presença no gabinete (%)
1	0,290	0,170	1,60%	0,040	0,38%	0,000	0,00%	0,080	0,75%
2	0,330	0,150	1,45%	0,070	0,68%	0,110	1,06%	0,000	0,00%
3	0,290	0,170	1,62%	0,040	0,38%	0,000	0,00%	0,080	0,76%
4	0,380	0,160	1,52%	0,120	1,14%	0,100	0,95%	0,000	0,00%
5	0,350	0,220	2,04%	0,050	0,46%	0,000	0,00%	0,080	0,74%
MÉDIA	0,328	0,174	1,64%	0,064	0,61%	0,042	0,40%	0,048	0,45%

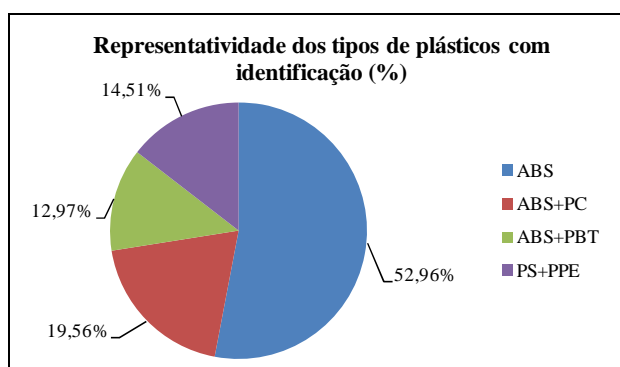


Figura 33 – Representatividade dos plásticos nos gabinetes por tipo de plástico.

4.2 RESULTADOS DO OBJETIVO 2 – CALCULAR A POTENCIAL TAXA DE RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DE GABINETES DE MICROS DE MESA

Obteve-se uma potencial taxa de reciclagem de 96,66% para os gabinetes. Esta taxa representa a quantidade de material com possibilidade de ser reciclado nas amostras estudadas.

4.2.1 Potencial taxa de reciclagem dos componentes e dos gabinetes

Com relação à potencial taxa de reciclagem de cada componente, os drives de disquetes e os drives de CDs obtiveram respectivamente 95,74%, 98,07% de taxa. Os cabos IDEs foram os componentes que obtiveram 100% de taxa, pois são constituídos de plásticos, fios e metais não ferrosos, ambos recicláveis. Os HDs, coolers e placas mãe obtiveram

respectivamente 96,20%, 82,67% e 97,89% de taxa. Obteve-se uma taxa de reciclagem de 81,93% para as fontes de energia, a qual alcançou a menor taxa, devido à quantidade de materiais não recicláveis (misturados) encontrada neste componente. O componente constituído de tampas, corpos e outras partes obteve uma taxa de reciclagem de 99,41%, devido ao fato de possuírem somente 0,037 kg, ou seja, 0,59% de materiais não recicláveis. A Tabela 18 apresenta os dados consolidados das potenciais taxas de reciclagem dos componentes dos gabinetes.

Tabela 18 – Potencial taxa de reciclagem dos componentes.

Potencial taxa de reciclagem dos componentes				
Componentes	Massa média total (kg)	Material reciclável (kg)	Material não reciclável (kg)	Potencial taxa de reciclagem (%)
1 - Drives de disquetes	0,404	0,387	0,017	95,74
2 - Drives de CDs	0,858	0,841	0,017	98,07
3 - Cabos IDEs	0,136	0,136	0,000	100,00
4 - HDs	0,474	0,456	0,018	96,20
5 - Coolers	0,060	0,050	0,010	82,67
6 - Placas mãe	1,100	1,077	0,023	97,89
7 - Fontes de energia	1,274	1,044	0,230	81,93
8 - Tampas, corpos, outras partes	6,256	6,219	0,037	99,41
Média	10,562	10,209	0,353	96,66

Os cinco gabinetes obtiveram uma potencial taxa de reciclagem entre 96,47% e 96,83%, com uma diferença de 0,36% entre a menor e a maior taxa. A Tabela 19 apresenta a potencial taxa de reciclagem individual de cada gabinete, bem como a potencial taxa de reciclagem total das amostras estudadas.

Tabela 19 – Potencial taxa de reciclagem dos gabinetes.

Potencial taxa de reciclagem dos gabinetes				
Código do gabinete	Massa média total (kg)	Material reciclável (kg)	Material não reciclável (kg)	Potencial taxa de reciclagem (%)
1	10,650	10,287	0,363	96,59
2	10,350	9,985	0,365	96,47
3	10,510	10,177	0,333	96,83
4	10,500	10,162	0,338	96,78
5	10,800	10,435	0,365	96,62
Média	10,562	10,209	0,499	96,66

4.2.2 Potencial taxa de reciclagem dos materiais

A massa média de plásticos obtida na desmontagem dos gabinetes foi de 0,728 kg (Tabela 20) e considerou-se este material como reciclável. Essa reciclabilidade deu-se, devido ao fato de que atualmente existem processos de [reciclagem de plásticos](#) com retardantes de chama. Este material representa 6,89% da taxa de reciclagem de 96,66% obtida.

Todos os metais não ferrosos foram considerados recicláveis. Estes materiais representam a massa média de 6,832 kg e são os mais representativos nos gabinetes. Os metais não ferrosos representam 64,68% da taxa de reciclagem de 96,66% obtida. Os metais

ferrosos também foram considerados recicláveis. Estes materiais somam 1,698 kg da massa média total e representam 16,08% da taxa de reciclagem obtida. Definiram-se estes materiais como recicláveis, devido ao fato de existirem vários processos de reciclagem de metais ferrosos e metais não ferrosos consolidados no mercado.

Os materiais com substâncias de interesse que são as PCIs, os microprocessadores e seus soquetes, os módulos de memória, os capacitores eletrolíticos de alumínio e os componentes eletrônicos, consistem em 0,631 kg da massa média total. Todo este grupo de materiais foi considerado como reciclável, devido ao fato que atualmente existem várias tecnologias para reciclagem destes materiais a fim de recuperar os metais nobres e preciosos neles existentes. Este grupo representa 5,98% da taxa de reciclagem de 96,66%.

Os materiais considerados perigosos (baterias) representam 0,003 kg da massa média total e os fios e cabos representam 0,318 kg. Considerou-se os dois grupos como recicláveis, devido à existência de diversos processos de reciclagem destes tipos de materiais consolidados no mercado. Estes grupos representam respectivamente 0,03% e 3,00% da taxa de reciclagem de 96,66%.

O grupo dos outros materiais representa 0,353 kg da massa média total dos gabinetes dos computadores. Considerou-se este grupo de materiais como não reciclável, devido ao fato de serem constituídos de tecidos, etiquetas adesivas, esponjas, látex, borrachas, rejeitos misturados (plástico com metal), cerâmicas, dentre outros. A Tabela 20 apresenta os dados consolidados da potencial taxa de reciclagem dos sete grupos materiais dos gabinetes.

Tabela 20 – Potencial taxa de reciclagem dos materiais.

Potencial taxa de reciclagem dos materiais		
Grupos de materiais	Massa média total (kg)	Potencial taxa de Reciclabilidade (%)
1 - Plásticos	0,728	6,89
2 - Metal não ferroso	6,832	64,68
3 - Metal ferroso	1,698	16,08
4 - Materiais com substâncias de interesse	0,631	5,98
5 - Materiais considerados perigosos	0,003	0,03
6 - Fios e cabos	0,318	3,00
7 - Outros materiais	0,353	0,00
Totais	10,562	96,66

4.3 RESULTADOS DO OBJETIVO 3 – EFETUAR A CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS QUE COMPÕE OS RESÍDUOS DE GABINETES DE MICROCOMPUTADORES DE MESA

Efetuaram-se 203 análises químicas qualitativas no Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X, a fim de caracterizar os **elementos químicos** encontrados nos gabinetes de microcomputadores de mesa. As análises foram efetuadas em 185 peças inteiras,

em 5 PCIs moídas e em 13 plásticos moídos. Para algumas peças que eram visualmente iguais nos componentes dos cinco gabinetes, efetuou-se a análise em uma única amostra.

Encontrou-se o total de 47 elementos químicos dos 118 elementos da Tabela Periódica. Dos 47 elementos, 35 são classificados como metais (34 metais não ferrosos e 1 metal ferroso). O único metal ferroso da Tabela Periódica é o ferro (**Fe**). Dos 34 metais não ferrosos, 4 elementos prata (**Ag**), ouro (**Au**), ósmio (**Os**) e irídio (**Ir**) são classificados como metais preciosos e 5 elementos actínio (**Ac**), neodímio (**Nd**), térbio (**Tb**), túlio (**Tm**) e itérbio (**Yb**), são classificados como terras raras. Os 12 elementos restantes constituem-se de 4 semi metais silício (**Si**), germânio (**Ge**), antimônio (**Sb**) e polônio (**Po**) e 8 não metais fósforo (**P**), enxofre (**S**), selênio (**Se**), flúor (**F**), cloro (**Cl**), bromo (**Br**), iodo (**I**), ástato (**At**). Destes 8, 5 são considerados não metais halogênios (**F, Cl, Br, I, At**).

A Figura 34 apresenta a localização dos elementos químicos encontrados na Tabela Periódica. A Tabela 21 apresenta o símbolo e o nome dos elementos.

															F	
											Al	Si	P	S	Cl	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	Se	Br	
Rb	Sr		Zr	Nb	Mo					Ag			Sn	Sb	I	
Cs	Ba	*		Ta	W	Re	Os	Ir		Au			Pb	Po	At	
		**														
Lantanídeos	*					Nd						Tb			Tm	Yb
Actínídeos	**	Ac														

Legenda

Tabela Periódica								
Metals					Semi-metals	Não metais	Não metais (halogênios)	
Metais não ferrosos				Metal ferroso				
Alcalinos	Alcalinos terrosos		Preciosos	Terras raras				

Figura 34 – Localização dos elementos químicos encontrados na Tabela Periódica.

Tabela 21 – Símbolo e nome dos elementos químicos encontrados nos gabinetes.

Símbolo	Nome do elemento	Símbolo	Nome do elemento	Símbolo	Nome do elemento
Ac	Actínio	Ge	Germânio	Sb	Antimônio
Ag	Prata	I	Iodo	Sc	Escândio
Al	Alumínio	Ir	Írídio	Se	Selênio
At	Ástato	K	Potássio	Si	Silício
Au	Ouro	Mn	Manganês	Sn	Estanho
Ba	Bário	Mo	Molibdênio	Sr	Estrôncio
Br	Bromo	Nb	Nióbio	Ta	Tântalo
Ca	Cálcio	Nd	Neodímio	Tb	Térbio
Cl	Cloro	Ni	Níquel	Ti	Titânio
Co	Cobalto	Os	Ósmio	Tm	Túlio
Cr	Cromo	P	Fósforo	V	Vanádio
Cs	Césio	Pb	Chumbo	W	Tungstênio
Cu	Cobre	Po	Polônio	Yb	Ítérbio
F	Flúor	Rb	Rubídio	Zn	Zinco
Fe	Ferro	Re	Rênio	Zr	Zircônio
Ga	Gálio	S	Enxofre		

Dos 47 elementos identificados, 13 foram elementos majoritários (aqueles que se encontram em quantidade superior a 50% na peça analisada). A Figura 35 apresenta os elementos majoritários encontrados nos gabinetes e a Tabela 22 apresenta os componentes onde os elementos majoritários foram localizados.

Das 203 análises efetuadas o **Al** apareceu como elemento majoritário em 80 peças, destas, 67 peças são capacitores eletrolíticos, assim confirma-se que os capacitores eletrolíticos das PCIs estudadas são capacitores eletrolíticos de alumínio. Segundo [Iman \(2007\)](#) estes capacitores contêm alumínio de alta pureza. O **Cu** (metal nobre) apareceu como elemento majoritário em 29 peças analisadas e em 10 peças apareceu como majoritário juntamente com os elementos **Br**, **Ca** e **Sn**. O **Ni** apareceu como elemento majoritário em 25 peças, 14 nos HDs e 11 nas placas mãe. O **Fe** apareceu em 16 peças analisadas e todas fazem parte dos invólucros dos componentes dos gabinetes (peças utilizadas como tampas de proteção e corpos).

O **Br** apareceu em 12 análises e em 10 análises efetuadas em plásticos, este foi o elemento majoritário. O **Cl** apareceu como elemento majoritário em 7 análises, destas, todas foram em fios encapados. Assim, pode-se inferir que os retardantes de chamas utilizados nos fios encapados deste estudo são retardantes de chamas organoclorados. O **Zn** apareceu em 7 peças, destas, 4 peças são os corpos e as tampas dos gabinetes e os suportes dos drives de disquetes e CDs. Os demais elementos majoritários encontrados estão descritos na Tabela 22.

											Al	Si					Cl		
	Ca		Ti				Fe		Ni	Cu	Zn						Br		
													Sn	Sb					
		*											Pb						
		**																	

Figura 35 – Elementos majoritários encontrados nas análises químicas dos gabinetes.

Tabela 22 – Localização dos elementos químicos majoritários encontrados nos gabinetes.

Elemento majoritário	Peças nos gabinetes (un)	Local encontrado	Peças no componente (un)	Nome das peças
Al	80	Drives de CDs	21	Capacitores
		HDs	5	Tampa do HD, peças internas
		Placas mãe	43	37 capacitores, peças da placa mãe
		Fontes de energia	11	9 Capacitores, peças da PCI
Al e Si	5	HDs	5	Corpo do HD
Br	12	Plásticos do gabinete	10	Plásticos de todos os componentes
		Fontes de energia	2	Capacitores quadrados
Ca	1	Fonte de energia	1	Capacitores de cerâmica
Ca e Br	2	Placas mãe	2	Placa mãe moída
Cl	7	Cabos IDE	2	Fios encapados
		Cooler	1	Fios encapados
		Fonte de energia	1	Fios encapados
		Outras partes	3	Fios encapados
Cu	29	Drive de disquetes	1	Fio de cobre
		Drives de CD	3	Fios de cobre
		Cabos IDE	10	Partes metálicas dos cabos IDE
		HD	1	Fio de cobre
		Placas mãe	8	Processadores e fios de cobre
		Fontes de energia	6	Fios de cobre e transistores
Cu e Br	4	Drive de CD	1	Restos metálicos da PCI
		Placas mãe	3	Placas mãe moídas
Cu e Ca	5	Placas mãe	5	Socket dos processadores
Cu e Sn	1	Placa mãe	1	Restos metálicos da placa mãe
Fe	16	Drives de disquetes	3	Invólucros
		Drives de CD	3	Invólucros
		HDs	3	Invólucros
		Placa mãe	1	Espelho (escudo I/O)
		Fontes de energia	3	Invólucros
		Outras partes	3	Espelhos de proteção contra poeira e imã do alto falante
Ni	25	HDs	14	Peças internas (imã, disco, corpo do imã)
		Placas mãe	11	Baterias, dissipadores de calor do processador, partes metálica dos processadores
Pb e Sn	1	Fonte de energia	1	Restos metálicos da PCI
Si	4	Drive de CD	1	Circuitos integrados
		Placa mãe	1	Circuitos integrados
		Fontes de energia	2	Circuitos integrados e diodos
Sn e Sb	1	Placa mãe	1	Transistor
Ti	3	Plásticos do gabinete	3	Plásticos do gabinete
Zn	7	Tampas, corpos e outras partes	5	Invólucros, suportes dos drives de disquetes e CDs, corpo do alto falante
		Placas mãe	2	Fixadores do dissipador de calor
Total	203	Total	203	

raras **Ac**, **Tm**, **Yb**, **Nd** e **Tb**. O **Ac** foi identificado nas peças dos HDs. O **Nd** foi identificado nos discos dos HDs e o **Tb** e **Nd** foram encontrados nos dissipadores de calor dos processadores das placas mãe.

																			F
												Si	P	S					
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge		Se	Br			
Rb	Sr		Zr	Nb	Mo					Ag			Sn	Sb		I			
Cs	Ba	*		Ta	W	Re	Os	Ir		Au			Pb		Po	At			
		**																	
Lantanídeos	*					Nd						Tb				Tm	Yb		
Actinídeos	**	Ac																	

Legenda

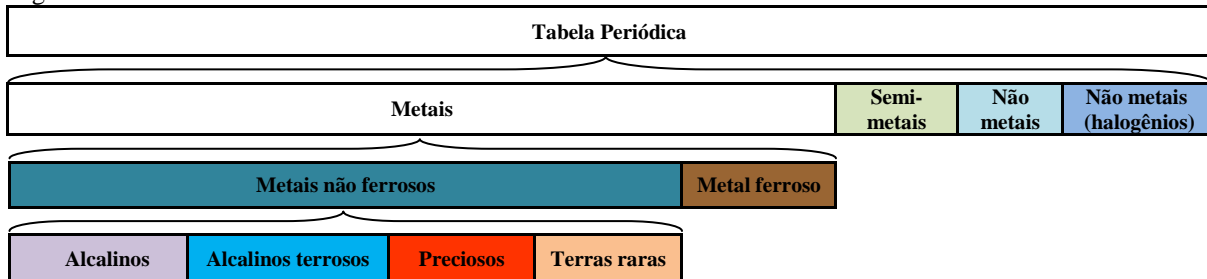


Figura 37 – Elementos traço encontrados nas análises químicas dos gabinetes.

Dos 16 elementos químicos críticos citados no estudo do *U.S. Department of Energy* de Bauer et al. (2011), 6 estão presentes nos resíduos dos gabinetes deste estudo, são eles o neodímio (**Nd**), o térbio (**Tb**), o gálio (**Ga**), o cobalto (**Co**), o manganês (**Mn**) e o níquel (**Ni**). A Tabela 23 apresenta os componentes onde os elementos químicos críticos foram encontrados.

Tabela 23 – Componentes onde os elementos químicos críticos foram encontrados.

Elemento químico	Símbolo	Componente	Peça	Análise qualitativa	
Cobalto	Co	Drives de disquetes	Fios de cobre	Elemento traço <5%	
		Drives de CD	Fios de cobre		
		Coolers	Fios de cobre		
		HDs	Imãs Discos		
		Placas mãe	Metal da parte de trás do processador		
		Fontes de energia	Fios de cobre		
Gálio	Ga	Drives de CD	Capacitores eletrolíticos de alumínio	Elemento traço <5%	
		Placas mãe	Capacitores eletrolíticos de alumínio Fixadores dos dissipadores de calor		
		Fontes de energia	Peças dentadas Capacitores eletrolíticos de alumínio		
Neodímio	Nd	HDs	Discos	Elemento traço <5%	
Térbio	Tb	Placas mãe	Dissipadores de calor do processador	Elemento traço <5%	
		Fontes de energia	Capacitores eletrolíticos de alumínio		
Manganês	Mn	Placas mãe	Dissipador de calor do processador	Elemento traço <5%	
		Drives de CDs	Capacitores eletrolíticos de alumínio Tampas, corpos e peças internas		
		Drives de disquetes	Invólucros e peças internas		
		Fonte de energia	Invólucros Componentes das PCIs		
		HDs	Invólucros Peças internas Imãs		
		Outras partes	Invólucros		
Níquel	Ni	Placas mãe	Baterias Fixadores dos dissipadores de calor Escudo I/O	Elemento majoritário >50%	
		Drives de CDs	Imãs, corpos dos imãs Peças internas Discos		
		HDs	Tampa		Elemento em menor quantidade (>5% x <50%)
			Corpos Tampas Eixos		Elemento traço <5%
			Baterias Dissipador de calor do processador Metal da parte de trás do processador		Elemento majoritário >50%
			Processadores Sockets dos processadores Escudos I/O Restos das PCIs		Elemento em menor quantidade (>5% x <50%)
Níquel	Ni	Placas mãe	Capacitores Transistores Dissipador de calor da memória RAM PCIs moídas	Elemento traço <5%	
		Cabos IDE	Metais dos cabos IDE	Elemento em menor quantidade (>5% x <50%)	
		Drives de CDs	Restos das PCIs Capacitores	Elemento em menor quantidade (>5% x <50%) Elemento traço <5%	
Níquel	Ni	Fontes de energia	Transistores Invólucros Componentes das PCIs	Elemento em menor quantidade (>5% x <50%) Elemento traço <5%	
		Drives de disquetes	Invólucros	Elemento traço <5%	

4.3.1 Caracterização dos elementos químicos dos componentes

A seguir descrevem-se os elementos químicos identificados em cada um dos 8 componentes estudados, bem como a quantidade de análises efetuadas em cada um deles.

4.3.1.1 Caracterização dos elementos químicos dos drives de disquetes

Efetuaram-se 4 análises nestes componentes, pois os cinco drives de disquetes eram constituídos de peças iguais. A Tabela 24 apresenta os elementos químicos encontrados nos drives de disquetes analisados e a Figura 38 apresenta as peças analisadas.

Tabela 24 – Elementos químicos encontrados nos drives de disquetes.

Componente	Elementos químicos encontrados nas análises de Fluorescência de Raios-X		
	Elementos majoritários (>50%)	Elementos em menor quantidade (>5% x <50%)	Elementos traço (<5%)
1 – Drives de disquetes	Fe, Cu	Zn	Ca, Co, Ni, Mn, Si

A seguir descrevem-se os elementos químicos encontrados nas quatro análises.

Fio (1): o **Cu** foi encontrado como elemento majoritário nos fios analisados, nestes, foi o **Ca** e o **Co** que apareceram como elementos traço. Este fio foi o único metal não ferroso encontrado nos drives de disquetes.

Metal interno (2), tampa (3) e corpo (4): o elemento majoritário encontrado nas peças analisadas foi o **Fe** e o elemento em menor quantidade foi o **Zn**. Os elementos traço encontrados nas peças foram o **Ni**, **Mn** e **Si**.

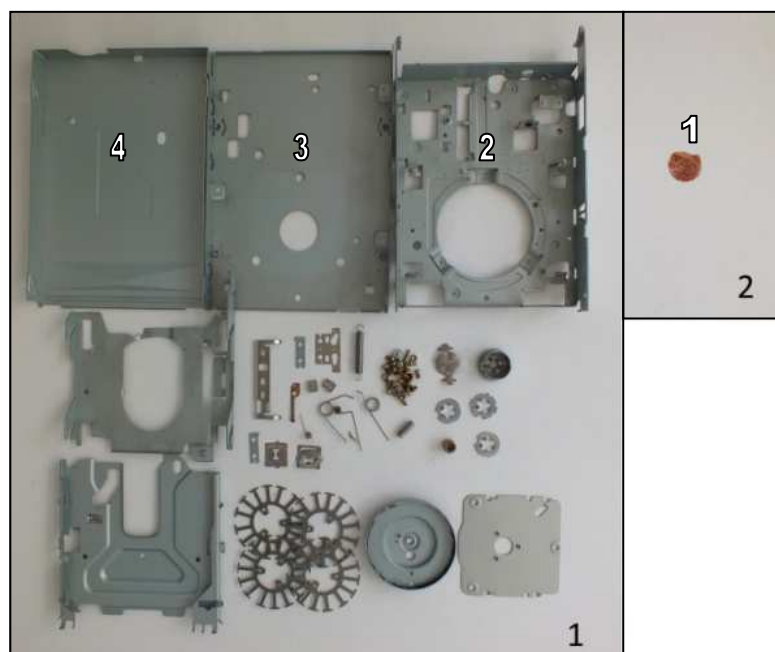


Figura 38 – Peças analisadas no drive de disquetes. 1 – Metais ferrosos, 2 – Metais não ferrosos.

4.3.1.2 Caracterização dos elementos químicos dos drives de CDs

Efetuar-se 29 análises nestes componentes, destas, 21 foram em capacitores. A Tabela 25 apresenta os elementos químicos encontrados nos drives de CDs analisados e a Figura 39 apresenta as peças analisadas.

Tabela 25 – Elementos químicos encontrados nos drives de CDs.

Componente	Elementos químicos encontrados nas análises de Fluorescência de Raios-X		
	Elementos majoritários (>50%)	Elementos em menor quantidade (>5% x <50%)	Elementos traço (<5%)
2 – Drives de CDs	Al, Br, Cu, Fe, Si	Cl, Ni, Si, Sn, Sb, Zn	Ac, Ag, At, Br, Ca, Co, Cu, Cr, Fe, Ga, Ge, Ir, Mn, Ni, P, Pb, Po, S, Sb, Sr, Sn, Si, Ta, Ti, Zn, Zr

A seguir descrevem-se os elementos químicos encontrados nas peças.

Capacitores (1): analisaram-se 3 capacitores 100-10V, 3 capacitores 10-16V, 2 capacitores 22-6V, 2 capacitores 100-6V, 2 capacitores 220-6V, 4 capacitores 47-16V, 2 capacitores 100-16V e 3 capacitores 220-10V. O elemento majoritário foi o **Al**. O elemento em menor quantidade encontrado foi o **Cl** (halogênio), o qual indica que estes capacitores possuem um revestimento retardante de chamas. Os elementos traço encontrados foram o **Cr**, **Ag** (metal precioso), **Pb**, **Ni**, **Cu** (metal nobre), **Fe**, **Mn**, **Zn**, **At** (halogênio), **Ac** (terra rara), **Ir** (metal precioso), **Po**, **Ca**, **P**, **Ga**, **Ge**, **S**, **Sn**, **Si**, **Ti**, **Ta** e **Sn**. O elemento crítico **Ga** foi encontrado em 3 capacitores, a **Ag** e o **Ir** apareceram em 2 capacitores e o terra rara **Ac** apareceu em 1 capacitor.

Fios de cobre (2), (3) e (4): o **Cu** apareceu como elemento majoritário nas amostras analisadas e os elementos **Ca**, **Co**, **S**, e **Si** apareceram como elementos traço.

Tampa (5), corpo (6) e peça interna (7): nestas peças o elemento majoritário foi o **Fe** e o elemento em menor quantidade foi o **Zn**. Os elementos traço foram o **Mn**, **Ca** e **Si**.

Circuitos integrados (8): o elemento majoritário foi o **Si**, em menor quantidade foi o **Sb** e os elementos traço foram **Pb**, **Cu**, **Zn**, **Br** e **Sn**.

Restos da PCI (9): os elementos majoritários foram o **Cu** e o **Br**, em menor quantidade foram o **Ni**, **Zn**, **Si** e **Sn** e os elementos traço foram **Pb**, **Fe**, **Ca**, **Sb**, **Sr**, **Ti** e **Zr**. O **Pb** e o **Sn** encontrados nas análises são os elementos que compõe a solda dos componentes nas PCIs.

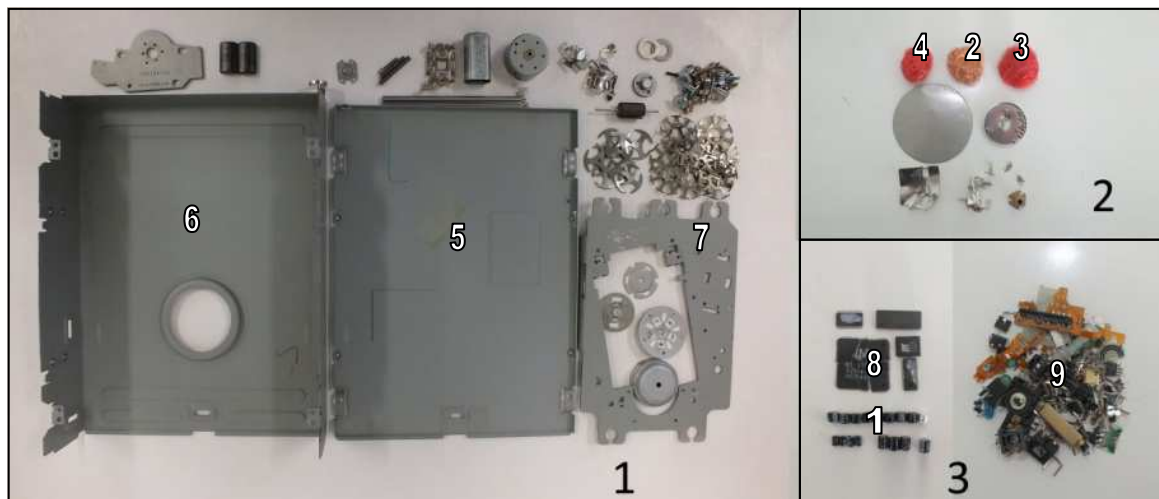


Figura 39 – Peças analisadas no drive de CDs. 1 – Metais ferrosos, 2 – Metais não ferrosos, 3 – Materiais com substâncias de interesse.

4.3.1.3 Caracterização dos elementos químicos dos cabos IDE

Analisaram-se 12 peças dos cabos IDE dos cinco gabinetes. A Tabela 26 apresenta os elementos químicos encontrados nos cabos IDE analisados e a Figura 40 apresenta as peças analisadas.

Tabela 26 – Elementos químicos encontrados nos cabos IDE.

Componente	Elementos químicos encontrados nas análises de Fluorescência de Raios-X		
	Elementos majoritários (>50%)	Elementos em menor quantidade (>5% x <50%)	Elementos traço (<5%)
3 – Cabos IDE	Cu, Cl	Ca, Ni, Pb, Si, Sn, Zn	Au, Br, Ca, Cu, Fe, I, Os, Pb, Rb, Se, Sb, Si, Sn, Sr, Ti, Zn

A seguir descrevem-se os elementos químicos encontrados nas peças analisadas.

Metais pequenos (1) e metais compridos dos conectores (2): o **Cu** foi o elemento majoritário, nestas peças foram encontrados como elementos em menor quantidade o **Pb, Ni, Zn, Si** e **Sn**. Como elementos traço foram encontrados o **Pb, Br** (halogênio), **Ca, Rb, Sn, Si**, também foi encontrado o metal precioso **Au**.

Cabos (3): tem como elemento químico majoritário o **Cl** (halogênio). O **Ca** apareceu como elemento em menor quantidade. O cloreto de cálcio (CaCl_2) (CAS n°. 10043-52-4) é amplamente utilizado em plásticos e não é considerado substância perigosa. Como elementos traço foram encontrados **Pb, Sb, Cu** (metal nobre), **Fe, Zn, I, Os** (metal precioso), **Sr, Sn, Si** e **Ti**.

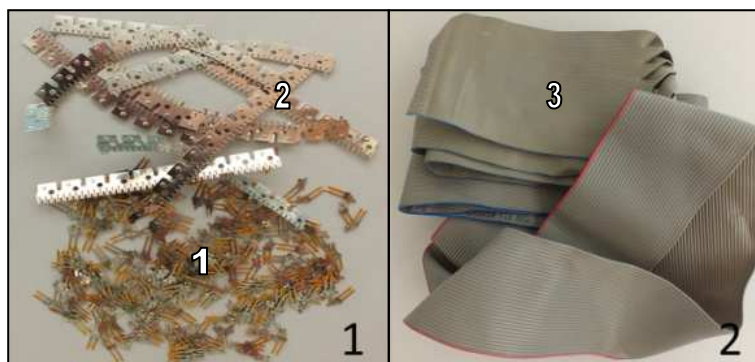


Figura 40 – Peças analisadas nos cabos IDE. 1 – Metais não ferrosos, 2 – Fios e cabos.

4.3.1.4 Caracterização dos elementos químicos dos HDs

Analisaram-se 28 peças dos HDs dos cinco gabinetes. A Tabela 27 apresenta os elementos químicos encontrados nos HDs analisados e a Figura 41 apresenta as peças analisadas.

Tabela 27 – Elementos químicos encontrados nos HDs.

Componente	Elementos químicos encontrados nas análises de Fluorescência de Raios-X		
	Elementos majoritários (>50%)	Elementos em menor quantidade (>5% x <50%)	Elementos traço (<5%)
4 – HDs	Al, Fe, Ni, Cu, Si	Cu, Cr, Fe, Ni, P, S, Si, Zn	Ac, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, F, Fe, Ge, K, Mn, Mo, Nd, Ni, Pb, S, Se, Si, Sn, Ta, Ti, V, Zn, Zr, W

A seguir descrevem-se os elementos químicos encontrados nas peças.

Corpo do HD (1): os elementos majoritários do corpo foram o **Al** e o **Si** e os elementos em menor quantidade foram o **Cu** e o **Zn**. Os elementos traço encontrados no corpo foram o **Cr, Ba, Pb, Ni, Fe, Mn, Ac** (terra rara), **Ti, V** e **Zr**.

Corpo do imã (2) (peça na qual o imã é fixado): também apresentou como elemento majoritário o **Ni** e como elementos em menor quantidade o **Fe** e o **P**. Como elemento traço encontraram-se o **Ac** (terra rara) e o **Mo**.

Imã (3): apresentou como elemento majoritário o **Ni** e como elementos em menor quantidade o **Fe** e o **P**. O **Co** foi encontrado como elemento traço. Também foram encontrados como elementos traço o **Se**, o **Mn** e o **Mo**.

Braço leitor do disco (4): apresentou o **Al** como elemento majoritário e como elementos traço o **Cr, Cu** (metal nobre), **Fe, Mn, Ac** (terra rara), **Ge, Si** e **Zr**.

Disco (5): apresentou o **Ni** como elemento majoritário e o **Co** e o **Nd** foram encontrados como elementos traço. Os elementos **Fe, F, Mo** e **Ca** encontrados nos discos também foram traço.

Tampa do HD (6): das 5 tampas analisadas, 2 obtiveram o **Al** como elemento majoritário e 3 obtiveram o **Fe** como elemento majoritário. Nas 2 tampas de alumínio o **Si** apareceu como elemento em menor quantidade e como elementos traço apareceram o **Cr, Ni, Fe, Zn, K, S, Ti, Ta e W**. Nas 3 tampas de ferro o **Cr** e o **Ni** apareceram como elementos em menor quantidade e os elementos **Mn, Mo e V** apareceram como traço.

Peça 7 Fio de cobre (7): o elemento majoritário foi **Cu**, em menor quantidade apareceram o **S e Si**.

Peça redonda (8): o elemento majoritário foi o **Ni**, em menor quantidade apareceu o **P**. Os elementos **Cr, Fe, Mn, Zn, Sn e W** foram traço.

Peça 6 Eixo (9): o elemento majoritário foi o **Al** e os elementos traço foram **Cr, Se, Ni, Cu, Fe, Mn, e Zn**.

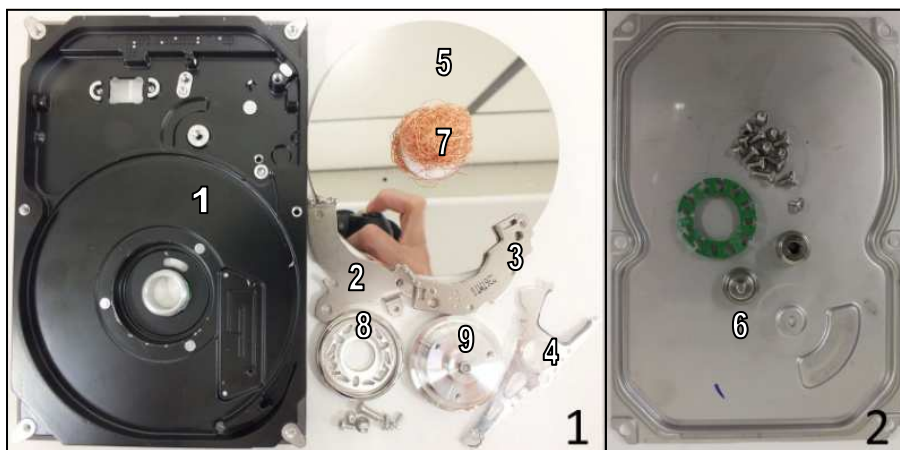


Figura 41 – Peças analisadas nos HDs. 1 – Metais não ferrosos, 2 – Metais ferrosos

4.3.1.5 Caracterização dos elementos químicos dos coolers

Analisaram-se 2 peças dos coolers dos cinco gabinetes, devido ao fato dos coolers serem iguais em massa e em peças constituintes. A Tabela 28 apresenta os elementos químicos encontrados nos coolers analisados e a Figura 42 apresenta as peças analisadas.

Tabela 28 – Elementos químicos encontrados nos coolers.

Componente	Elementos químicos encontrados nas análises de Fluorescência de Raios-X		
	Elementos majoritários (>50%)	Elementos em menor quantidade (>5% x <50%)	Elementos traço (<5%)
5 – Coolers	Cl, Cu	Ca	Ca, Co, Cu, Fe, Os, Pb, Sb, Si, Sn, Sr, Ti

Fio de cobre (1): o **Cu** apareceu como elemento majoritário na amostra analisada e os elementos **Ca, Co e Si** apareceram como elementos traço.

Fio encapado (2): o **Cl** foi o elemento majoritário encontrado e o **Ca** o elemento em menor quantidade. O cloreto de cálcio (CaCl_2) (CAS nº. 10043-52-4) é amplamente utilizado em plásticos. Os elementos traço foram o **Pb, Sb, Cu, Fe, Os, Sr, Sn** e **Ti**.

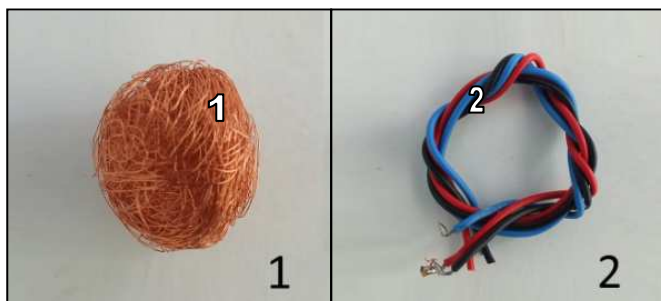


Figura 42 – Peças analisadas nos coolers. 1 – Metal não ferroso, 2 – Fios e cabos.

4.3.1.6 Caracterização dos elementos químicos das placas mãe

Analisaram-se 77 peças das placas mãe dos cinco gabinetes estudados. A Tabela 29 apresenta os elementos químicos encontrados nas placas mãe analisadas e a Figura 43 apresenta as peças analisadas.

Tabela 29 – Elementos químicos encontrados nas placas mãe.

Componentes	Elementos químicos encontrados nas análises de Fluorescência de Raios-X		
	Elementos majoritários (>50%)	Elementos em menor quantidade (>5% x <50%)	Elementos traço (<5%)
6 – Placas mãe	Al, Br, Ca, Cu, Fe, Ni, Sb, Si, Sn, Zn	Au, Ba, Br, Ca, Cl, Cr, Cu, Fe, Ni, P, Pb, Sb, Si, Sn, Zn	Ag, Au, Ba, Br, Ca, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ir, K, Mn, Mo, Ni, Nb, Nd, Os, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Si, Sn, Sr, Ta, Tb, Ti, V, Zn

A seguir descrevem-se os elementos químicos encontrados nas peças analisadas.

Bateria (1): apresentou como o elemento majoritário o **Ni** e como elementos em menor quantidade o **Cr** e o **Fe**. Nas baterias foram encontrados como elementos traço o **Mn, Mo, Cs** e **S**.

Processador (2): esta peça apresentou o **Cu** como elemento majoritário. O **Ba, Ni, Si, Sn** apareceram como elementos em menor quantidade. Como elementos traço apareceram o **Sb, Fe, S, Sr, Au** (metal precioso) e **Br** (halogênio).

Dissipador de calor do processador (3): apresentou como elemento majoritário o **Ni** e o **P** como elemento em menor quantidade. Os elementos traço encontrados foram o **Fe, Cs, Ta, Nd** e **Tb**.

Metal da parte traseira do processador (4): nesta peça o **Ni** também foi o elemento majoritário e o elemento em menor quantidade foi o **Cu**. Os elementos traço foram o **Zn, Si e Co**.

Socket do processador (5): o **Cu** e o **Ca** apareceram como elementos majoritários. O **Ni, Si** e o **Au** (metal precioso) apareceram como elementos em menor quantidade. Essa foi a única peça analisada na qual o ouro apareceu como elemento em menor quantidade nos cinco gabinetes. Os elementos traço encontrados foram o **Fe, Zn, Rb, Sc, Sr, Sn e Ti**.

Capacitores (6): analisaram-se 37 capacitores das placas mães dos cinco gabinetes. 5 capacitores 1500-16V, 2 capacitores 330-6,3V, 5 capacitores 22-16V, 5 capacitores 100-10V, 5 capacitores 1500-6,3V, 5 capacitores 680-10V, 5 capacitores 3300-6,3V e 5 capacitores 330-25V. Todos os capacitores analisados apresentaram como elemento majoritário o **Al**. O elemento em menor quantidade encontrado nos capacitores analisados foi o **Cl** (halogênio), o qual indica que estes componentes possuem um revestimento retardante de chamas. Tal afirmação se dá devido ao fato de que alguns capacitores foram analisados sem a capa protetora e nestes não foi indicada a presença do **Cl** (halogênio). Os elementos traço encontrados foram **Ni, Ag** (metal precioso), **Cu** (metal nobre), **Fe, Zn, Ca, Ga, S, Sr, Sn, Si e Ti**. O elemento crítico **Ga** foi encontrado em sete capacitores analisados e a **Ag** (metal precioso) em 1 capacitor.

Fios de cobre (7): os fios de cobre analisadas apresentaram o **Cu** como elemento majoritário e o **Ca** como elemento traço.

Fio de cobre do cooler (8): o **Cu** apareceu como elemento majoritário na amostra analisada e os elementos **Ca, Co e Si** apareceram como elementos traço.

Peça do dissipador de calor do processador (9): o **Al** foi o elemento majoritário encontrado e os elementos traço foram o **Ni, Cu, Fe, Ir** (metal precioso), **Os** (metal precioso) e **Ta**.

Dissipador de calor da memória RAM (10): o elemento majoritário encontrado foi o **Al**, este elemento químico dissipa maior quantidade de calor em menor tempo. Os elementos traço foram **Cr, Ni, Cu, Fe, Zn, K, Ga, S, Si e Ti**.

Fixador do dissipador de calor do processador (11): o elemento majoritário desta peça foi o **Zn** e o elemento em menor quantidade foi o **Fe**. Os elementos traço encontrados foram o **Cr, Mn e Ca**.

Fixador do dissipador de calor do processador (12): o **Zn** foi o elemento majoritário desta peça e os elementos traços foram o **Cr**, **Cu**, **Fe** e **Mn**.

Escudo I/O (13): o elemento majoritário desta peça foi o **Fe** e em menor quantidade foram encontrados o **Cr** e o **Ni**. Os elementos traço foram o **Cu** (metal nobre), **Mn**, **Mo**, **Cs**, **Nb** e **V**.

Circuitos integrados (14): o elemento majoritário encontrado nestas peças foi o **Si** e os elementos traço foram o **Br** (halogênio), **Sb** e **Sn**, o qual indica a presença de retardante de chamas bromados. Os elementos traço foram a **Ag** (metal precioso), **Pb**, **Cu** e **Fe**.

Transistores (15): os elementos majoritários foram o **Sn** e o **Sb**. Os elementos em menor quantidade foram o **Pb**, **Fe**, **Br** (halogênio), e **Si**, o qual indica a presença de retardante de chamas bromados. Os elementos traço foram o **Ba**, **Ni**, **Cu**, **Zn** e **Ti**.

Placa mãe (16): as cinco placas mãe foram moídas e após a moagem foram analisadas individualmente. Os elementos majoritários encontrados em 3 placas foram o **Cu** (metal nobre) e o **Br** (halogênio), o qual indica a presença de retardante de chamas bromados. Os elementos em menor quantidade foram o **Ca** e **Si**. Em 2 placas apareceram o **Ca** e o **Br** como elementos majoritário e **Cu** e **Si** como elementos em menor quantidade. Os elementos traço encontrados foram o **Pb**, **Ni**, **Fe**, **Zn**, **S**, **Sr**, e **Ti**. Nas análises não apareceram metais preciosos, terras raras, bem como elementos considerados críticos. Com isso, pode-se verificar que as substâncias de interesse (metais preciosos, terras raras e metais críticos) encontram-se nos componentes da placa mãe e não na placa propriamente dita, apesar desta ter como elemento majoritário o **Cu** que é considerado um metal nobre.

Restos da PCI (17): os elementos em majoritários foram o **Cu** e o **Sn**. Os em menor quantidade foram o **Pb**, **Ni** e **Zn**. O **Pb** e o **Sn** são os elementos que compõe a solda dos componentes na placa. Segundo [Veit \(2005\)](#) os componentes das PCIs são soldados com uma liga Pb-Sn (37-63%) e nas análises efetuadas o **Sn** apareceu como elemento majoritário e o **Pb** como elemento em menor quantidade. Ao se comparar os resultados das análises da placa mãe (16) e dos restos da placa mãe (17), pode-se perceber que grande parte da solda de chumbo-estanho se despreendeu da placa quando a mesma foi aquecida.

Yamane et al. (2012) encontrou prata, alumínio, ouro, cobre, ferro, níquel, chumbo, estanho e zinco nas análises das PCIs de microcomputadores efetuadas em seu estudo. As análises foram realizadas por meio de espectrometria de emissão atômica com

plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), onde o cobre foi o metal com maior concentração encontrado.

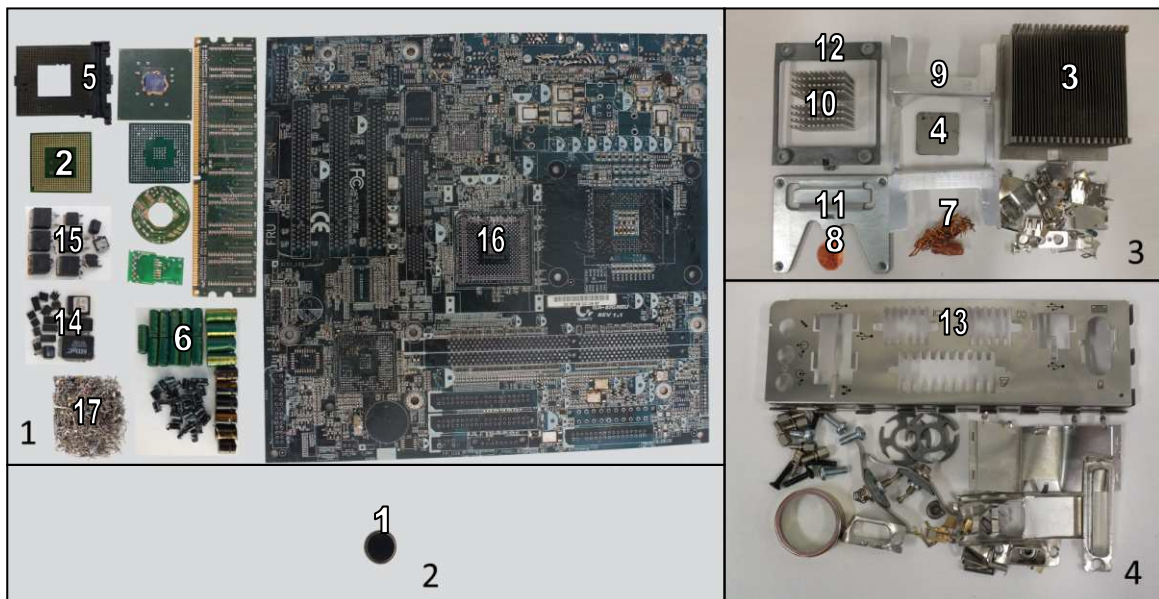


Figura 43 – Peças analisadas nas placas mãe. 1 – Materiais com substâncias de interesse, 2 – Materiais considerados perigosos, 3 – Metais não ferrosos, 4 – Metais ferrosos.

4.3.1.7 Caracterização dos elementos químicos das placas mãe por granulometria.

Para executar a caracterização por granulometria, efetuaram-se 12 análises. Pode-se perceber que não houve diferenças significativas quando se comparou os resultados das análises das placas moídas, com os resultados das análises por granulometria (com relação aos elementos majoritários e aos elementos em menor quantidade). Os elementos **Cu**, o **Ca** e o **Br** continuaram como majoritários. O **Si** apareceu como elemento em menor quantidade em todas as cinco placas moídas e em todas as granulometrias. O elemento **Ba** apareceu nas análises por granulometrias como elemento em menor quantidade e como elemento traço, o que não ocorreu nas análises das placas moídas. O **Cr**, **I** e **Mn** aparecem como elementos traço nas granulometrias o que não ocorreu nas análises das placas moídas.

O **Sn** apareceu como elemento em menor quantidade em seis granulometrias e como elemento traço na granulometria #40. O **Pb** apareceu como elemento traço em todas as cinco placas moídas e em sete granulometrias. Assim, pode-se concluir que a liberação de maior quantidade de elementos químicos se deu nas granulometrias menores e quanto menor o tamanho das partículas, mais fácil é a liberação de elementos químicos como o **Pb**, **Sn**, **Zn** e **Mn**.

Nas análises das placas mãe por granulometria também não apareceram substâncias de interesse (metais preciosos, terras raras e metais críticos), onde ratificou-se que

tais substâncias encontram-se nos componentes da placa mãe. O único metal nobre que apareceu nas análises das placas mãe moídas foi o **Cu**. Logo, sugere-se que este componente seja utilizado para recuperação de cobre, onde não se vê a necessidade de separação granulométrica para recuperação de tal metal.

A Tabela 30 apresenta os resultados das análises das placas mãe moídas. A Tabela 31 apresenta os resultados das análises das placas mãe moídas por granulometria.

Tabela 30 – Elementos químicos encontrados nas placas mãe moídas.

Código do gabinete	Componente	Substâncias encontradas na análise de Fluorescência de Raios-X		
		Elementos majoritários (>50%)	Elementos em menor quantidade (>5% x <50%)	Elementos Traço (<5%)
1	Placa mãe moída	Br, Cu	Ca, Si	Fe, Pb, S, Sr, Zn
2	Placa mãe moída	Br, Cu	Ca, Si	Fe, Pb, Ni, S, Sr, Ti
3	Placa mãe moída	Br, Ca	Cu, Si	Fe, Pb, Ti
4	Placa mãe moída	Br, Cu	Ca, Si	Fe, Pb, Sr, Ti
5	Placa mãe moída	Br, Ca	Cu, Si	Fe, Pb

Tabela 31 – Elementos químicos encontrados nas placas mãe moídas por granulometria.

Componente	Peneiras (Mesh)	Substâncias encontradas na análise de Fluorescência de Raios-X		
		Elementos majoritários (>50%)	Elementos em menor quantidade (>5% x <50%)	Elementos Traço (<5%)
Placas mãe moídas por granulometria	#6	Br, Cu	Ca, Ba, Si	Fe, S, Sr
	#12	Br	Ca, Cu, Si	Ba, Fe, S, Sr
	#20	Br	Ca, Cu, Si	Cr, Fe, Ni, Sr, Ti
	#30	Br, Cu	Ca, Si, Sn	Cr, Fe, I, Ni, Sr, Ti
	#40	Br, Cu	Ca, Si	Cr, Fe, I, Ni, Pb, Sn, Sr
	#50	Br	Ca, Cu, Si	Cr, Fe, I, Ni, Pb, Sr
	#70	Br, Cu	Ba, Ca, Si, Sn	Fe, I, Ni, Pb, Sr
	#100	Br, Cu	Ca, Si	Ba, Cr, Fe, I, Ni, Pb, Sn, Sr, Zn
	#140	Br, Ca	Ba, Cu, Si, Sn	Cr, Fe, I, Ni, Pb, Sr
	#200	Br, Ca	Ba, Cu, Si, Sn	Cr, Fe, Ni, Pb, Sr, Zn
	#270	Br, Ca	Cu, Si, Sn	Ba, Cr, Fe, I, Ni, Pb, Sr, Ti, Zn
	#300	-	Br, Ca, Cu, Pb, Si, Sn	Ba, Cr, Fe, I, Mn, Ni, Sr, Ti, Zn

4.3.1.8 Caracterização dos elementos químicos das fontes de energia

Analisaram-se 27 peças das fontes de energia dos cinco gabinetes estudados. A Tabela 32 apresenta os elementos químicos encontrados nas fontes de energia analisadas e a Figura 44 apresenta as peças analisadas.

Tabela 32 – Elementos químicos encontrados nas fontes de energia.

Componentes	Elementos químicos encontrados nas análises de Fluorescência de Raios-X		
	Elementos majoritários (>50%)	Elementos em menor quantidade (>5% x <50%)	Elementos traço (<5%)
7 – Fontes de energia	Al, Br, Ca, Cl, Cu, Fe, Pb, Si, Sn	Ba, Br, Ca, Cl, Cu, Fe, Ni, Pb, Sb, Si, Sn, Ti, Zn	Ag, Ba, Br, Ca, Cu, Co, Cr, Fe, Ga, I, K, Mn, Ni, Pb, Re, S, Sb, Si, Sn, Sr, Ta, Tb, Ti, Zn, Zr

A seguir descrevem-se os elementos químicos encontrados nas peças analisadas.

Tampa de ventilação do cooler (1) e corpo da fonte (2): o elemento majoritário encontrado nas peças foi o **Fe**, o elemento em menor quantidade foi o **Zn** e os elementos traço foram o **Cr, Ni, Mn, S e Si**.

Tampa da fonte (3): o elemento majoritário encontrado nas peças foi o **Fe**, o elemento em menor quantidade foi o **Zn** e os elementos traço foram o **Cr, Cu, Ni, Mn, S e Si**.

Fios encapados (4): o elemento majoritário foi o **Cl** (halogênio), o qual indica a presença de retardante de chamas clorados. O elemento em menor quantidade foi o **Ca**. O carbonato de cálcio (CaCO_3) (CAS nº. 471-34-1) é usualmente utilizado em revestimentos de fios. Os elementos traço foram o **Cu, Fe, Zn, Sr, Si e Ti**. É na fonte onde encontra-se a maior quantidade de fios encapados dos gabinetes.

Fio de cobre do cooler (5): o elemento majoritário encontrado foi o **Cu** e os elementos traço foram o **Ca, S e Si**.

Peça dentada (6): o elemento majoritário foi o **Al** e o elemento em menor quantidade foi o **Si**. Os elementos traço foram o **Cu, Fe, Zn, Ca, Ga, S e Ti**.

Peça em L (7): o elemento majoritário foi o **Al** e os elementos traço foram o **Cr, Pb, Ni, Cu, Fe, Mn, Zn e Re**.

Capacitores (8): analisaram-se 9 capacitores, destes, 5 capacitores 470-250V, 2 capacitores 2200-16V, 1 capacitor 47-16V e 1 capacitor 2,2-50V. Todos os capacitores apresentaram como elemento majoritário o **Al**. O elemento em menor quantidade foi o **Cl** (halogênio), o qual indica que estes componentes possuem um revestimento com retardante de chamas clorados.

Fios de cobre (9): o elemento majoritário foi o **Cu** e os elementos traço foram o **Br** (halogênio), **Co, S e Ti**.

Capacitor de cerâmica (10): o elemento majoritário foi o **Ca**. O **Ba, Pb, Br** (halogênio) e **Ti** apareceram como elementos em menor quantidade. Os elementos **Ag** (metal precioso), **Cu, Fe, Zn, I, Sb, Sr e Zr** apareceram como traço.

Transistores (11): o elemento em maior quantidade foi o **Cu**, em menor quantidade apareceram o **Ni** e o **Si**. Os elementos traço foram o **Zn** e o **Sb**.

Transistores (12): o elemento em maior quantidade foi o **Cu**, em menor quantidade apareceu o **Ni**. Os elementos traço foram o **Zn, Sb, Br** (halogênio), **Ca e Si**.

Circuitos integrados (13): o elemento majoritário foi o **Si**. Em menor quantidade apareceram o **Cu** (metal nobre), **Br** (halogênio), **Sb** e **Sn**. Os elementos traço foram o **Ag** (metal precioso), **Pb**, **Fe** e **Zn**.

Diodo (14): o elemento majoritário foi o **Si**. Em menor quantidade apareceram o **Br** (halogênio) e **Sb**. os elementos traço foram o **Zn** e **Sn**.

Capacitores quadrados (15): o elemento majoritário foi o **Br** (halogênio), em menor quantidade apareceu o **Sb** e como elemento traço foram encontrados o **Ni**, **Fe**, **Mn** e **Zn**.

Restos da PCI (16): os elementos majoritários foram o **Pb** e o **Sn**. Os em menor quantidade foram o **Fe**, **Cu** e **Ca**. Os elementos traço foram o **Cr**, **Ag**, **Ba**, **Ni**, **Sd**, **Mn**, **Zn**, **Br**, **Si**, **Ti** e **Zr**.

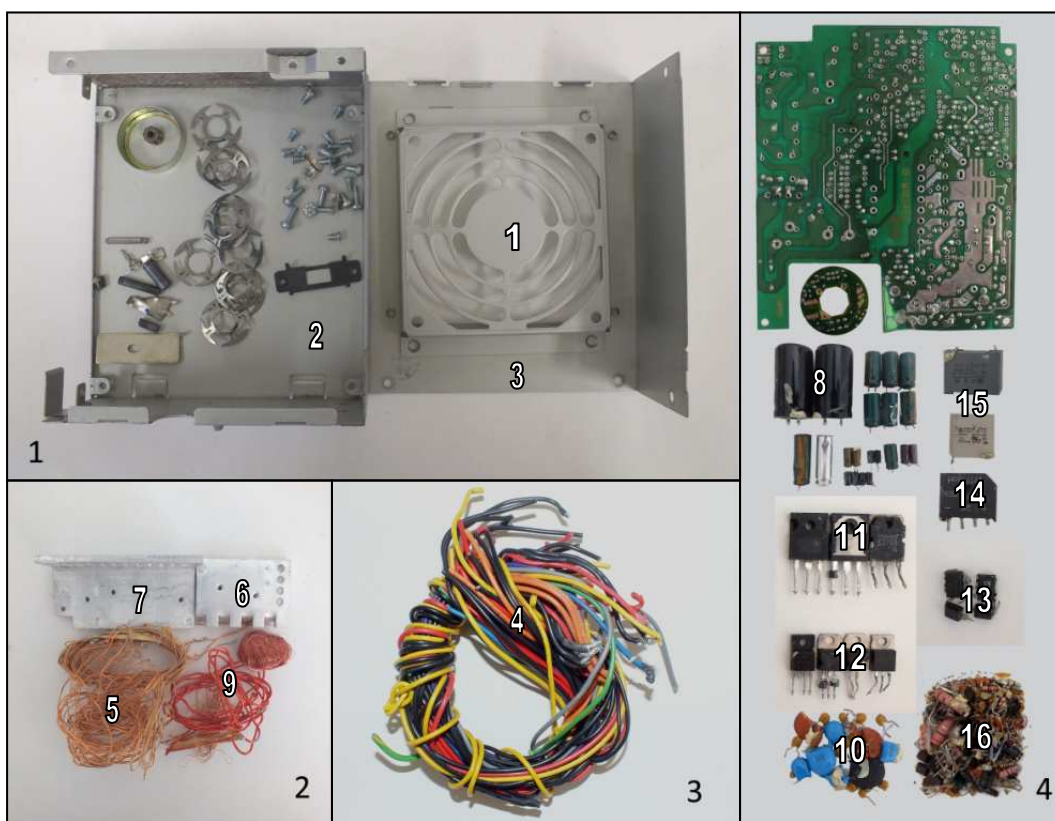


Figura 44 – Peças analisadas nas fontes de energia. 1 – Metais ferrosos, 2 – Metais não ferrosos, 3 – Fios e cabos, 4 – Materiais com substâncias de interesse.

4.3.1.9 Caracterização dos elementos químicos das tampas, corpos e outras partes

Analisaram-se 11 peças das tampas, corpos e outras partes dos cinco gabinetes. A Tabela 33 apresenta os elementos químicos encontrados nas tampas, corpos e outras partes analisados e a Figura 45 apresenta as peças analisadas.

Tabela 33 – Elementos químicos encontrados nas tampas, corpos e outras partes.

Componentes	Elementos químicos encontrados nas análises de Fluorescência de Raios-X		
	Elementos majoritários (>50%)	Elementos em menor quantidade (>5% x <50%)	Elementos traço (<5%)
8 – Tampas, corpos e outras partes	Cl, Fe, Zn	Ca, Cl, Fe, Nd, V	Ba, Br, Ca, Cr, Cu, Fe, Mn, Nb, Os, Pb, S, Sb, Si, Sn, Sr, Ti, Tm, Zn

A seguir descrevem-se os elementos químicos encontrados nas peças analisadas.

Tampa do gabinete (1): o elemento majoritário encontrado foi o **Zn**, os elementos em menor quantidade foram o **Fe** e o **Ca**. O carbonato de cálcio (CaCO_3) (CAS n°. 471-34-1) é utilizado em tintas para revestimento. Os elementos traço foram o **Br** (halogênio), **S**, **Sr** e **Ti**.

Corpo do gabinete (2): o elemento majoritário encontrado foi o **Zn**, o elemento em menor quantidade foi o **Fe** e o elemento traço foi o **Cr**.

Suporte do drive de CDs (3): o elemento majoritário encontrado foi o **Zn**, o elemento em menor quantidade foi o **Fe** e o elemento traço foi o **Mn**.

Suporte do drive de disquetes (4): o elemento majoritário encontrado foi o **Zn**, o elemento em menor quantidade foi o **Fe** e o elemento traço foi o **Mn**.

Corpo do alto falante (5): o elemento majoritário encontrado foi o **Zn**, como elemento em menor quantidade foram encontrados o **Fe** e o **Cl** (halogênio). Os elementos traço foram o **Cr**, **S** e **Si**.

Imã do alto falante (6): apresentou como elemento majoritário o **Fe**. Como elementos em menor quantidade apareceram o **Nd** e o **V**. Como elementos traço apareceram o **Cr**, **Zn**, **Ca**, **Nb** e **S**.

Tampa de slot de PCI (7): o elemento majoritário foi o **Fe** e os elementos traço são o **Cu**, **Mn**, **Sn** e **Si**.

Espelho do gabinete (8): o elemento majoritário foi o **Fe** e os elementos traço são o **Mn**, **Tm**, **Sn** e **Si**.

Fios encapados preto/amarelo/verde (9): o elemento majoritário encontrado foi o **Cl** (halogênio), o elemento em menor quantidade foi o **Ca**. Os elementos traço foram o **Cr**, **Pb**, **Sb**, **Cu**, **Os**, **Sr** e **Sn**.

Fios encapados pretos/cinza/vermelho (10): o elemento majoritário encontrado foi o **Cl** (halogênio), o elemento em menor quantidade foi o **Ca**. O cloreto de cálcio (CaCl_2)

(CAS n°. 10043-52-4) é amplamente utilizado em plásticos. Os elementos traço foram o **Pb**, **Cu**, **Fe** e **Sn**.

Fios encapados brancos (11): o elemento majoritário encontrado foi o **Cl** (halogênio), o elemento em menor quantidade foi o **Ca** e os elementos traço foram o **Ba**, **Sb**, **Cu**, **Fe**, **Zn**, **Sr** e **Ti**.

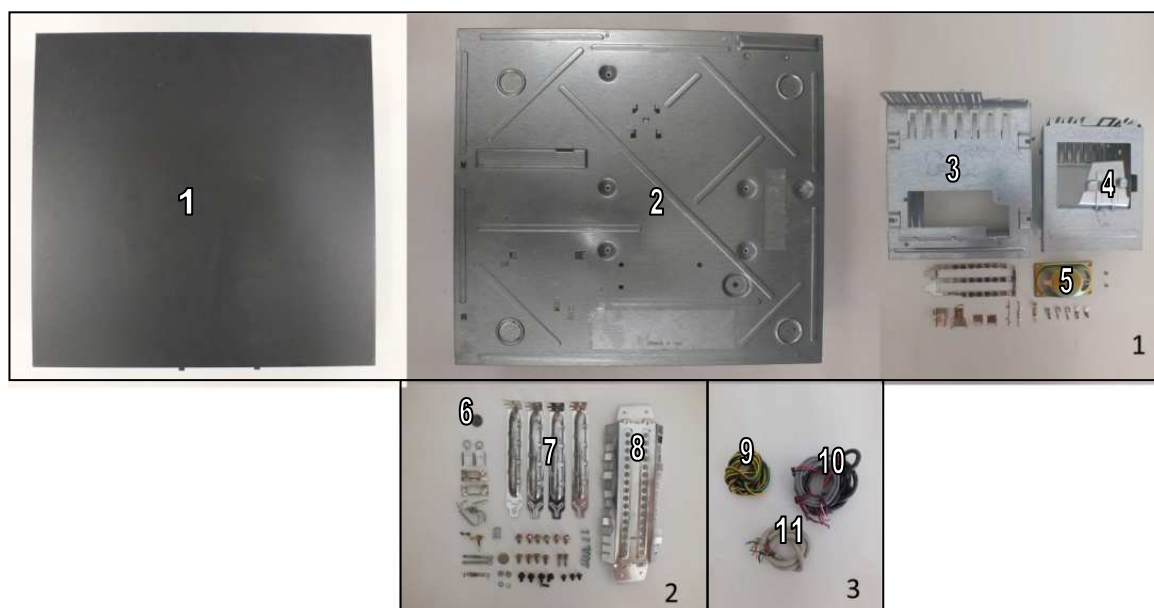


Figura 45 – Peças analisadas nos corpos, fontes e outras partes. 1 - Metais não ferrosos, 2 – Metais ferrosos, 3 – Fios e cabos.

4.3.2 Caracterização dos elementos químicos dos plásticos

Após a moagem dos plásticos por tipo, efetuaram-se 13 análises a fim de identificar os elementos químicos constituintes. A Tabela 34 apresenta os elementos químicos encontrados nos plásticos analisados.

Tabela 34 – Elementos químicos encontrados nos plásticos.

Tipos de plásticos	Substâncias encontradas na análise de Fluorescência de Raios-X		
	Elementos majoritários (>50%)	Elementos em menor quantidade (>5% x <50%)	Elementos Traço (<5%)
ABS	Br, Ti	Sb, Fe, S, Ca, Ti, Si, Br	Ca, Cr, Fe, S, Si, Zn
ABS+PBT	Br	-	Cr, K, Ti
ABS+PC	Ti	P	Cr, Fe, V
PS+PPE	Ti	Zn	-
Sem identificação	Br	S, Ca, Si	Ni, Cu, Fe, Zn, S, Ti

Em 10 análises efetuadas o **Br** apareceu como elemento majoritário. Isso indica que os retardantes de chamas utilizados em 77% dos plásticos das amostras analisadas neste estudo, são retardantes de chamas halogenados bromados.

O plástico ABS apresentou como elementos majoritários o **Br** e o **Ti**, o dióxido de titânio é amplamente utilizado como pigmento em plásticos. A blenda ABS+PBT apresentou o **Br** como elemento majoritário. A blenda ABS+PC obteve como elemento majoritário o **Ti** e como elemento em menor quantidade apareceu o **P**. O fósforo é utilizado como retardante de chamas fosforados neste tipo de blenda. Esse retardante de chamas não possui maiores efeitos de corrosividade ou toxicidade, pois o **P** não é um elemento halogênio. A blenda PS+PPE também obteve o **Ti** como elemento majoritário e não apresentou nenhum elemento halogênio em sua composição. Os plásticos sem identificação obtiveram o **Br** como elemento majoritário.

4.3.3 Considerações sobre a caracterização dos elementos químicos

O Anexo VII da Diretiva 2012/19/UE determina que as PCIs com superfície maior que 10 cm² devem ser removidas dos equipamentos eletrônicos, independente do seu grau de periculosidade. A placa mãe possui superfície de 575,75 cm². Com relação aos componentes, a PCI da fonte de energia tem superfície de 181,25 cm² e do HD tem 71,25 cm². O drive de CD tem duas PCIs, uma com superfície de 154 cm² e outra com 42 cm². O drive de disquetes também tem duas PCIs uma com superfície de 51 cm² e outra com 27,5 cm². Portanto, todas essas PCIs devem ser removidas dos gabinetes de microcomputadores e enviadas para processos de reciclagem com tratamento específico, pois elas possuem superfície superior a 10 cm².

Os drives de disquetes e de CD são compostos basicamente de metal ferroso. Estes drives possuem quatro PCIs que contêm elementos com substâncias de interesse. Também foram encontrados fios de cobre, que contém o elemento crítico cobalto (**Co**). Para estes componentes sugere-se que os fios de cobre sejam removidos. As PCIs também devem ser removidas, destas, devem-se remover os capacitores que são de alumínio (**Al**) e contêm metais preciosos como a prata (**Ag**) e o irídio (**Ir**), o terra rara actínio (**Ac**) e o elemento crítico gálio (**Ga**). Essa segregação visa à recuperação dos metais de forma mais eficiente.

Os cabos IDE também apresentaram substâncias de interesse, nas análises tanto dos metais não ferrosos, como dos cabos. Foram encontrados o metal nobre cobre (**Cu**) e os metais preciosos ouro (**Au**) e ósmio (**Os**). Sugere-se que estes componentes sejam segregados em enviados para tratamento específico.

A reciclagem dos HDs também é de extrema importância, pois este componente é constituído basicamente de metais não ferrosos como o alumínio (**Al**), níquel (**Ni**) que é um

elemento crítico e cobre (**Cu**). Também possuem elementos críticos como o neodímio (**Nd**), o cobalto (**Co**) e o manganês (**Mn**). Segundo Kara et al. (2010) mais de 30% do neodímio utilizado no mundo no ano de 2008 foi destinado para a fabricação deste componente.

As placas mãe contêm quantidades apreciáveis de cobre (**Cu**), de alumínio (**Al**) e do elemento crítico níquel (**Ni**). Também contém pequenas quantidades de metais preciosos como o ouro (**Au**), prata (**Ag**), irídio (**Ir**) e ósmio (**Os**) e de elementos críticos como o neodímio (**Nd**), cobalto (**Co**), térbio (**Tb**), gálio (**Ga**) e manganês (**Mn**) em suas peças específicas. Este foi o componente onde se encontrou a maior abundância de substâncias de interesse, o qual justifica a quantidade de estudos realizados para recuperação de metais das placas mãe. Para estes componentes também sugere-se que os elementos que possuem substâncias de interesse, sejam removidos, segregados e enviados para tratamento específico.

O invólucro da fonte de energia é de metal ferroso e é na PCI deste componente onde foram encontrados os materiais com substâncias de interesse. Nela encontram-se peças com quantidade elevadas de alumínio (**Al**) e cobre (**Cu**), bem como pequenas quantidades de metais nobres como a prata (**Ag**) e de elementos críticos como o gálio (**Ga**), cobalto (**Co**), térbio (**Tb**) e manganês (**Mn**). Para este componente também sugere-se que os materiais que possuem substâncias de interesse, sejam removidos, segregados e enviados para tratamento específico.

Segundo Buchert et al. (2012) a reciclagem de materiais que contém terras raras não está estabelecida em escala industrial. Assim, sugere-se que as peças dos componentes que possuem os elementos actínio (**Ac**), túlio (**Tm**), itérbio (**Yb**), térbio (**Tb**) e neodímio (**Nd**) sejam colocadas em armazenamento temporário para posterior envio para reciclagem destes elementos, a fim da recuperação destes metais de forma mais eficiente.

A fração de plástico identificada neste estudo possui grande quantidade de retardantes de chamas halogenados a base de bromo. Conforme citado anteriormente, já existem processos de reciclagem para este tipo de material. Esses processos têm como objetivo converter os materiais orgânicos contidos em REEE plásticos em combustíveis, monômeros originais ou outros produtos químicos valiosos. Mas ainda existem muitas desvantagens que precisam ser superadas, pois estes processos aumentam o custo de reciclagem deste tipo de material. Os plásticos também podem ser usados como fonte de energia para outros processos, mas quando queimados podem gerar gases tóxicos (dioxinas e furanos). Cabe salientar que se a produção, operação, destinação e reciclagem forem efetuadas

de forma ambientalmente correta, os danos à saúde e ao meio ambiente podem ser minimizados ou até mesmo eliminados.

4.4 RESULTADOS DO OBJETIVO 4 – CLASSIFICAR OS RESÍDUOS DOS GABINETES DE MICROCOS DE MESA CONFORME SUA PERICULOSIDADE

Os resíduos dos gabinetes foram classificados segundo as diretrizes da NBR 10004:2004 Resíduos sólidos – Classificação. Após, efetuou-se uma comparação entre a NBR 10004:2004 e a NBR 16156:2013 Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos – Requisitos para atividade de manufatura reversa.

4.4.1 Caracterização dos resíduos de gabinetes de micros de mesa segundo a NBR 10004:2004 Resíduos sólidos – Classificação.

Com relação à classificação dos resíduos dos gabinetes, segundo os itens [3.2.a](#) e [3.2.b](#) da Norma, chegou-se ao seguinte contexto:

- **Item 3.2.a:** os resíduos de gabinetes de microcomputadores deste estudo não apresentam riscos à saúde pública, não provocam mortalidade nem a incidência de doenças e não acentuam os seus índices;
- **Item 3.2.b:** os resíduos de gabinetes de computadores podem causar riscos ao meio ambiente, se os mesmos forem gerenciados de forma inadequada.

Com relação à classificação dos resíduos de gabinetes por meio do enquadramento dos mesmos na listagem do [Anexo A](#) ou do [Anexo B](#) da Norma, chegou-se ao seguinte contexto:

- **Anexo A:** as cinzas provenientes da incineração de placas de circuito impresso que contém metais preciosos (código de identificação F043) são consideradas resíduos Classe I (perigoso) devido a sua característica de toxicidade. Este é o único item referente à REEE que consta em tal Anexo;
- **Anexo B:** não foi encontrada nenhuma referência a resíduos eletrônicos neste Anexo.

Os resíduos dos gabinetes de microcomputadores deste estudo não foram enquadrados em nenhum dos Anexos A e B, devido a este fato, os mesmos não podem ser considerados resíduos Classe I (perigoso) segundo tais Anexos.

Obteve-se uma classificação negativa após efetuar a comparação das amostras dos resíduos conforme as características segundo os itens da NBR 10004:2004: 4.2.1.1 –

inflamabilidade; 4.2.1.2 – corrosividade; 4.2.1.3 – reatividade e 4.2.1.5 – patogenicidade. Assim, chegou-se ao contexto de que os resíduos de gabinetes de microcomputadores deste estudo não apresentam as características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e patogenicidade.

4.4.1.1 Caracterização dos elementos químicos identificados nos gabinetes segundo sua toxicidade de acordo com a NBR 10004:2004 Resíduos Sólidos - Classificação.

Descreve-se abaixo, o enquadramento dos elementos químicos dos resíduos conforme o item 4.2.1.4 – toxicidade da NBR 10004:2004. Classificaram-se os resíduos estudados com relação a sua periculosidade segundo os Anexos C, D, E, F e G da referida Norma.

Al, Fe, Cu, Zn: o alumínio, ferro, cobre e zinco se enquadram no Anexo G da NBR 10004:2004 e não são substâncias que conferem periculosidade aos resíduos. Resíduos a base de **Al, Fe, Cu e Zn** são classificados como resíduos Classe II (não perigoso), pois constam somente no Anexo G da referida NBR. Os resíduos que contém estes elementos químicos devem passar por ensaio de solubilização conforme a NBR 10006:2004, a fim de identificar se são considerados resíduos sólidos Classe II A (não inerte) ou Classe II B (inerte).

Au, Ca, P, Nd, S, Si, Sn, Ti, V: o ouro, cálcio, fósforo, neodímio, enxofre, silício, estanho, titânio e vanádio não constam em nenhum anexo da NBR 10004:2004, portanto não são consideradas substâncias que causam preocupação segundo essa Norma. O cloreto de cálcio (CaCl_2) (CAS nº. 10043-52-4) é amplamente utilizado em plásticos e não é considerado substância perigosa. O carbonato de cálcio (CaCO_3) (CAS nº. 471-34-1) é utilizado em tintas para revestimento e também não é considerado substância perigosa.

Br: o bromo apareceu nos drives de CDs (restos da PCI), nas placas mãe (placas mãe moídas, circuitos integrados e transistores), nas PCIs das fontes de energia (capacitor de cerâmica, circuitos integrados, diodos e capacitores quadrados), nos plásticos sem identificação, ABS e ABS+PBT. O **Br** (como elemento químico) não é citado em nenhum Anexo da referida NBR. O único produto químico encontrado na NBR 10004:2004, relacionado à retardante de chamas bromados (BFRs) é o 4-Bromofenil fenil éter (Anexo C e Anexo E, código de identificação U030, CAS nº. 101-55-3). Os códigos identificados pela letra U, constantes no Anexo E, são de substâncias que dada a sua presença, conferem periculosidade ao resíduo e são usados para classificar o resíduo como perigoso por sua característica de toxicidade. Não obstante, o retardante de chamas a base de bromo mais

utilizado na indústria eletrônica é o tetrabromobisfenol-A (TBBPA) e o seu uso não é considerado perigoso.

Cl: o cloro apareceu nos drives de CDs (capacitores), nos cabos IDE (cabos), nos coolers (fios encapados), nas placas mãe (capacitores), nas fontes de energia (fios encapados e capacitores) e nas outras partes (fios encapados e corpos dos alto falantes). Como elemento químico, o Cl não consta em nenhum anexo da NBR 10004:2004, mas existem nos anexos desta NBR, várias substâncias a base de cloro, consideradas tóxicas. Sabe-se que retardantes de chamas organoclorados são utilizados em componentes eletrônicos e em fios encapados.

Ba, Pb, Cr: o bário (Ba) foi identificado nas placas mãe (processador) e nas fontes de energia (capacitores de cerâmica). O chumbo (Pb) foi identificado nos cabos IDE (partes metálicas), placas mãe (restos da PCI e transistores) e fontes de energia (capacitores de cerâmica). O cromo (Cr) apareceu nos HDs (tampa) e nas placas mãe (bateria e escudo I/O). Esses elementos químicos estão enquadrados no Anexo C da NBR 10004:2004 como substâncias que conferem periculosidade aos resíduos. No Anexo F é estipulado o limite máximo que o elemento químico pode aparecer no lixiviado, Ba = 70 mg/L, Pb = 1,0 mg/L e Cr = 5,0 mg/L. Portanto, para classificar resíduos que contém bário, chumbo ou cromo, deve-se efetuar o ensaio de lixiviação conforme a NBR 10005:2004. Se o resultado da análise de lixiviação for superior ao estipulado no Anexo F (em qualquer um dos elementos), o resíduo deve ser classificado como Classe I (perigoso), mas, se o resultado for inferior ao estipulado no Anexo F, o resíduo deve ser classificado como Classe II (não perigoso).

Ni, Sb: O níquel (Ni) foi identificado nos HDs (ímãs, corpos dos ímãs, discos, tampas e peças internas), nas placas mãe (bateria, dissipador, metal do processador, processador, socket do processador e escudo I/O), nas fontes de energia (transistores), nos drives de CD (restos das PCIs) e nos cabos IDE (partes metálicas). O antimônio (Sb) foi identificado nas placas mãe (transistores e circuitos integrados), nos drives de CD (circuitos integrados) e nas fontes de energia (transistores, circuitos integrados, diodos e capacitores).

Estes dois elementos químicos estão enquadrados no Anexo C da NBR 10004:2004 e são considerados substâncias que conferem periculosidade aos resíduos. De acordo com a IARC (2014) o níquel e seus compostos são substâncias confirmadas como cancerígenas para o ser humano (Categoria IARC 1). O composto de antimônio (Sb₂O₃) utilizado como retardante de chamas em computadores é considerado substância com possíveis efeitos cancerígenos para o homem (Categoria IARC 2B). Portanto, infere-se que as peças e componentes deste estudo que contém estes dois elementos químicos como elemento

majoritário (>50%) ou como elemento em menor quantidade (>5% x <50%), são considerados resíduos Classe I (perigoso).

Os elementos mercúrio (**Hg**) e cádmio (**Cd**) não foram identificados em nenhuma das 203 análises efetuadas neste estudo. Cita-se também o céσιο (**Cs**) que foi identificado como elemento traço em duas peças analisadas da placa mãe. O céσιο (CAS nº 7440-46-2) não consta em nenhum Anexo da NBR 10004:2004. É um metal alcalino, de cor branca prateada, mole, dúctil. É o elemento mais eletropositivo e mais alcalino. Reage explosivamente com a água. O Céσιο (**Cs**) é um metal líquido em temperaturas usuais de ambientes. O hidróxido de céσιο é a base mais ativa (ataca o vidro) e é utilizado na fabricação de baterias alcalinas. Também é utilizado como catalisador para hidrogenação de compostos orgânicos e em células fotoelétricas. O cloreto de céσιο é usado em análises e pesquisas biológicas. Os isótopos radioativos de Céσιο são produzidos artificialmente e são usados no tratamento de alguns tipos de câncer. O isótopo ^{137}Cs é um emissor de radiação beta usado em sensores de umidade, nível, espessura e em propulsores de íons para naves espaciais. De forma genérica, compostos de céσιο são considerados medianamente tóxicos, similares aos compostos de potássio (MSPC, 2014).

4.4.1.2 Caracterização dos componentes dos gabinetes segundo sua toxicidade de acordo com a NBR 10004:2004 Resíduos Sólidos - Classificação.

A seguir descrevem-se as considerações sobre a toxicidade de cada um dos oito componentes deste estudo.

Toxicidade dos drives de disquetes: estes drives são constituídos dos elementos **Cu, Fe e Zn**, estes elementos se enquadram no Anexo G da NBR 10004:2004 e são substâncias que não conferem periculosidade aos resíduos. Estes componentes também são constituídos de **plásticos sem identificação** que obtiveram o **Br** como elemento majoritário na sua composição. Sabe-se que retardantes de chamas bromados (**BFRs**) são utilizados em plásticos, mas não foi possível identificar qual o retardante de chamas foi utilizado (perigoso ou não perigoso). Portanto, não foi possível definir a periculosidade deste resíduo a base de bromo sem o conhecimento de qual retardante de chamas foi utilizado na sua fabricação.

As PCIs deste componente possuem chumbo (**Pb**) e para identificar a periculosidade de componentes que possuem **Pb** na sua composição, deve-se efetuar o ensaio de lixiviação. Portanto, neste estudo não foi possível classificar a periculosidade dos drives de disquetes segundo os Anexos da NBR 10004:2004 Resíduos sólidos – Classificação. Tal afirmação se dá, devido ao fato de não se ter conhecimento de qual retardante de chamas foi

utilizado para fabricar estes componentes e de não se ter executado o ensaio de lixiviação para identificar a quantidade de chumbo presente nestes resíduos.

Toxicidade dos drives de CDs: as PCIs dos drives de CDs e seus componentes possuem **Br** e **Cl** na sua composição. Estes drives também são compostos de plásticos sem identificação e de plásticos **ABS+PBT**, ambos contém **Br** na sua composição. Sabe-se que retardantes de chamas são utilizados em PCIs e em plásticos, mas neste caso, não se sabe qual **retardante de chamas** foi utilizado (perigoso ou não perigoso). Portanto, não foi possível definir a periculosidade deste resíduo a base de bromo e de cloro sem o conhecimento de qual retardante de chamas foi utilizado na sua fabricação.

As PCIs dos drives de CDs também possuem **Pb**, **Ni** e **Sb** e a presença de **Ni** e **Sb** caracteriza as PCIs dos drives de CDs como resíduo perigoso. Portanto, infere-se que os drives de CDs deste estudo são resíduos Classe I (perigoso) devido à presença de níquel e antimônio nas PCIs, pois ambos são considerados elementos cancerígenos.

Toxicidade dos cabos IDE: estes componentes são compostos de plásticos sem identificação, os quais possuem **Br** como elemento majoritário. Não foi possível definir a periculosidade deste resíduo sem o conhecimento de qual retardante de chamas foi utilizado na sua fabricação. As partes metálicas possuem de **Ni** como elemento majoritário. Portanto, infere-se que os cabos IDE deste estudo são resíduos Classe I (perigoso), devido a presença de níquel que é um elemento cancerígeno.

Toxicidade dos HDs: o **Al**, **Fe**, **Cu** e **Zn** identificados nos HDs não conferem periculosidade a esses componentes. O **S**, **Si** e **P** não constam em nenhum anexo da NBR 10004:2004, portanto não são considerados elementos que causam preocupação segundo essa Norma. O **Cr** identificado é um elemento químico que confere periculosidade aos resíduos e resíduos com esse elemento devem passar por ensaio de lixiviação conforme a NBR 10005:2004 a fim de se verificar se o resíduo é Classe I (perigoso) ou Classe II (não perigoso).

Os HDs possuem uma pequena quantidade de plásticos sem identificação e esses plásticos apresentaram como elemento majoritário o **Br**, mas não foi possível definir a periculosidade deste resíduo sem o conhecimento de qual retardante de chamas foi utilizado na sua fabricação. Os HDs foram os componentes que apresentaram a maior quantidade de **Ni** como elemento majoritário, portanto infere-se esses componentes são resíduos Classe I (perigoso), devido à presença deste elemento cancerígeno.

Toxicidade dos coolers: o **Cu** identificado nos coolers não é considerado elemento que confere periculosidade ao resíduo. O **Ca** identificado nos fios não é considerado elemento que causa preocupação segundo essa Norma. Pode-se inferir que o **Cl** identificado nos fios encapados é da utilização de retardantes de chamas organoclorados. Os coolers são constituídos basicamente de plásticos sem identificação e estes plásticos obtiveram o **Br** como elemento majoritário. Não se consegue definir a periculosidade de um resíduo a base de cloro e de bromo sem o conhecimento de qual **retardante de chamas** foi utilizado na sua fabricação (perigoso ou não perigoso). Portanto, neste estudo não foi possível classificar a periculosidade dos coolers segundo os Anexos da NBR 10004:2004 Resíduos sólidos – Classificação, devido ao fato de não se ter conhecimento de quais retardantes de chamas foram utilizados para fabricar estes componentes.

Toxicidade das placas mãe: as placas mãe e suas peças possuem **Br** e **Cl** na sua composição. Estas placas são compostas de plásticos sem identificação, que contém o bromo como elemento majoritário. Sabe-se que retardantes de chamas são utilizados em PCIs, em componentes eletrônicos e em plásticos, mas não se sabe qual o retardante de chamas foi utilizado (perigoso ou não perigoso). Portanto, não se conseguiu definir a periculosidade deste resíduo a base de bromo e de cloro sem o conhecimento de qual retardante de chamas foi utilizado na sua fabricação.

Os elementos químicos **Ba**, **Pb** e **Cr** estão enquadrados no Anexo C e também se enquadram no Anexo F da NBR 10004:2004. Resíduos que contém estes elementos devem passar por ensaio de lixiviação conforme a NBR 10005:2004. Tal ensaio é que determina se o resíduo é classificado como Classe I (perigoso) ou Classe II (não perigoso).

O **Ni** e o **Sb** são considerados elementos que conferem periculosidade aos resíduos. As peças que contém níquel podem ser facilmente removidas das placas mãe, pois não estão soldadas na placa, já os componentes eletrônicos que contém antimônio estão soldados nas placas. Logo, pela presença dos elementos químicos cancerígenos níquel e antimônio, infere-se que as placas mãe deste estudo são resíduos Classe I (perigoso).

Toxicidade das fontes de energia: as fontes são constituídas basicamente de invólucros, de uma PCI (onde encontram-se os elementos considerados perigosos) e de fios encapados. Os elementos **Cu**, **Fe** e **Zn** enquadram-se no Anexo G da NBR 10004:2004 e são substâncias que não conferem periculosidade aos resíduos.

O **Br** se encontra nas PCIs e como elemento majoritário nos plásticos sem identificação das fontes. O **Cl** se encontra nos fios encapados e nos capacitores de alumínio. Sabe-se que retardantes de chamas bromados são utilizados em PCIs e em plásticos e que retardantes de chamas organoclorados são utilizados em fios. Neste caso, não se sabe qual o retardante de chamas foi utilizado (perigoso ou não perigoso). Portanto, não se consegue definir a periculosidade deste resíduo a base de bromo e de cloro sem o conhecimento de qual retardante de chamas foi utilizado na sua fabricação.

Os elementos químicos **Ba e Pb** foram identificados nas peças das PCIs, eles estão enquadrados no Anexo C e no Anexo F da NBR 10004:2004. Resíduos que contém estes elementos devem passar por ensaio de lixiviação conforme a NBR 10005:2004. Tal ensaio é que determina se o resíduo é classificado como Classe I (perigoso) ou Classe II (não perigoso).

O **Ni** e o **Sb** são considerados elementos que conferem periculosidade aos resíduos e foram identificados nos componentes eletrônicos soldados na PCI. Portanto, infere-se que as fontes de energia deste estudo são resíduos Classe I (perigoso), pela presença de níquel e de antimônio na PCI deste componente.

Toxicidade das tampas, corpos e outras partes: o **Zn** é o elemento predominante nos invólucros dos gabinetes e o **Fe** nas demais peças. Estes elementos enquadram-se no Anexo G da NBR 10004:2004 e são substâncias que não conferem periculosidade aos resíduos. O **Ca, V e o Nd** não constam em nenhum anexo da NBR 10004:2004, portanto não são consideradas substâncias que causam preocupação segundo essa Norma.

O **Cl** se encontra nos fios encapados e o **Br** nos plásticos sem identificação, nos plásticos **ABS** e na blenda **ABS+PC**. Não se consegue definir a periculosidade de um resíduo com retardante de chamas a base de cloro ou bromo sem o conhecimento de qual retardante de chamas foi utilizado na sua fabricação. Portanto, neste estudo não foi possível classificar a periculosidade dos fios encapados e dos plásticos contidos nas tampas, corpos e outras partes, segundo os Anexos da NBR 10004:2004 Resíduos sólidos – Classificação. Isso ocorreu devido ao fato de não se ter conhecimento de quais retardantes de chamas foram utilizados na fabricação destes materiais. Mas pode-se inferir que as peças metálicas, que são a maior parte destes componentes, podem ser classificadas como resíduos Classe II (não perigoso).

Logo, infere-se que os gabinetes de microcomputadores de mesa deste estudo, são classificados como resíduos Classe I (perigoso), devido à presença de substâncias que conferem periculosidade aos resíduos de acordo com os Anexos da ABNT NBR 10004:2004 – Resíduos sólidos – Classificação.

4.4.2 Considerações sobre a NBR 10004:2004 x NBR 16156:2013

A definição de resíduos eletroeletrônicos perigosos da [NBR 16156:2013](#) - Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos – Requisitos para atividade de manufatura reversa é muito parecida com a definição de resíduos perigosos da [NBR 10004:2004](#) – Resíduos sólidos – Classificação. Segundo a NBR 16156:2013 a caracterização da periculosidade dos resíduos deve ser efetuada, levando em conta os riscos para o meio ambiente quando estes forem descartados de forma inadequada. Também se deve levar em conta as substâncias ou produtos químicos que os resíduos são constituídos e que contenham ou sejam derivados, no todo ou em parte, das substâncias, produtos químicos ou grupos classificados como perigosos segundo a NBR 10004:2004 e banco de dados do IEC 62474, ou assim classificada por outros regulamentos (ABNT, 2013).

A NBR 16156:2013 apresenta em seu Anexo A (Substâncias ou grupos de substâncias que conferem perigo para resíduos elétricos e eletrônicos) uma lista informativa de substâncias ou grupos de substâncias que são potencialmente perigosas em resíduos elétricos e eletrônicos. Dos [47 elementos químicos](#) da Tabela Periódica identificados neste estudo, a NBR 16156:2013 lista somente os elementos químicos chumbo (**Pb**) e seus compostos e o níquel (**Ni**) e seus compostos. Na NBR 10004:2004 foram identificados 12 elementos químicos dos 47 encontrados, que são: alumínio (**Al**), cobre (**Cu**), ferro (**Fe**), zinco (**Zn**), manganês (**Mn**), bário (**Ba**), prata (**Ag**), Selênio (**Se**), cromo (**Cr**), antimônio (**Sb**), chumbo (**Pb**) e o níquel (**Ni**).

O alumínio (**Al**), cobre (**Cu**), ferro (**Fe**) zinco (**Zn**) e o manganês (**Mn**) constam somente no Anexo G da NBR 10004:2004 e não são substâncias que conferem periculosidade aos resíduos, devido a esse fato, estes elementos não constam no Anexo A da NBR 16156:2013. Os demais elementos químicos identificados neste estudo não constam em nenhuma das duas referidas NBRs.

Os elementos químicos bário (**Ba**), prata (**Ag**), Selênio (**Se**), cromo (**Cr**) e antimônio (**Sb**) não foram localizados no Anexo A da NBR 16156:2013. Esses cinco elementos constam no Anexo C da NBR 10004:2004 e são considerados substâncias que

conferem periculosidade aos resíduos. A seguir descrevem-se as características destes elementos conforme seu número de CAS – *Chemical Abstract Substance*.

Prata (**Ag**) (CAS nº 7440-22-4): a prata é considerada um elemento químico irritante, nocivo por ingestão e deve-se evitar o contato com a pele e com os olhos (GUIDECHEM, 2014). Não foi encontrada na literatura efetuada para este estudo, nenhuma menção da prata como elemento perigoso. Esse elemento também não consta na lista de substâncias cancerígenas segundo a IARC.

Selênio (**Se**) (CAS nº 7782-49-2): é considerado um elemento tóxico por inalação, tem efeitos cumulativos no organismo e pode causar efeitos nefastos a longo prazo no ambiente aquático. Não foi encontrada na literatura efetuada para este estudo, nenhuma menção do selênio como elemento perigoso. O selênio não consta na lista de substâncias cancerígenas segundo a (IARC).

Bário (**Ba**) (CAS nº 7440-39-3): é um elemento químico facilmente inflamável, corrosivo e irritante. É considerado tóxico por ingestão e muito tóxico por inalação, a inalação do produto pode causar ferimentos graves ou morte. Provoca queimaduras e reage violentamente com a água, pois em contacto com ela liberta gases extremamente inflamáveis. O escoamento de água de combate ao fogo pode causar poluição (GUIDECHEM, 2014). O bário é considerado um elemento perigoso em resíduos segundo a [literatura](#). O bário não consta na lista de substâncias cancerígenas segundo a (IARC).

Antimônio (**Sb**) (CAS nº 7440-36-0): é considerado um elemento tóxico para os organismos aquáticos e pode causar efeitos nefastos a longo prazo. É nocivo por inalação e ingestão, irritante para os olhos, vias respiratórias e pele. O produto e seu recipiente devem ser eliminados como resíduos perigosos. Pode ser fatal se inalado ou absorvido por meio da pele. O contato com gás pode causar queimaduras, lesões graves e congelamento. O fogo pode produzir gases irritantes, corrosivos e ou tóxicos. O escoamento de água de combate ao fogo pode causar poluição (GUIDECHEM, 2014). O antimônio é considerado um elemento perigoso em resíduos segundo a [literatura](#) e o antimônio e seus compostos constam na lista de substâncias consideradas cancerígenas segundo a IARC e constam no Grupo 2B (IARC 2B - substâncias com possíveis efeitos cancerígenos para o homem).

Cromo (**Cr**) (CAS nº 7440-47-3): este elemento químico não consta na NBR 16516:2013, o que consta nesta NBR são os compostos de Cr^{+6} , que são utilizados na

indústria como pigmento, pintura, tinta, catalisador, tratamento superficial anticorrosivo, corante, secante de tinta, tratamento com cromato e promotores de adesão de pintura.

A forma metálica do cromo não é encontrada livre na natureza, mas obtida após o processamento industrial do minério de cromo. O cromo metálico e os compostos de Cr^{+3} são classificados pela IARC no Grupo 3 (IARC 3 - não classificável quanto à carcinogenicidade). Essa categoria comumente é usada para agentes para os quais a evidência de câncer é inadequada no ser humano e inadequada ou limitada em animais de experimentação. Os compostos de Cr^{+6} são classificados pela IARC como cancerígenos para o ser humano e constam no Grupo 1 (IARC 1 - substâncias confirmadas como cancerígenas para o ser humano) (CETESB, 2014).

A prata (**Ag**), o selênio (**Se**), o bário (**Ba**), o antimônio (**Sb**) e o cromo (**Cr**) e seus compostos, são classificados como substâncias que conferem periculosidade aos resíduos segundo a NBR 10004:2004, pois constam em seu Anexo C. Neste estudo os elementos químicos **Ba**, **Sb** e **Cr** foram identificados como elementos majoritários e elementos em menor quantidade nas análises químicas efetuadas. Tais elementos fizeram parte da classificação dos resíduos conforme sua periculosidade. O **Se** e a **Ag** foram identificados como elementos traço e não fizeram parte da classificação devido à pequena quantidade encontrada.

Logo, para caracterizar os resíduos deste estudo que contêm estes cinco elementos, a NBR 10004:2004 foi mais efetiva, devido ao fato destes elementos constarem em seu Anexo C como substâncias que conferem periculosidade aos resíduos. Se a comparação dos elementos químicos identificados neste estudo fosse efetuada com o Anexo A da NBR 16156:2013, somente o chumbo (**Pb**) e o níquel (**Ni**) caracterizariam a periculosidade dos resíduos de gabinetes de microcomputadores de mesa.

Com relação aos retardantes de chamas halogenados (**BFRs**), somente o 4-Bromofenil fenil éter (CAS nº. 101-55-3) consta na NBR 10004:2004 e na NBR 16156:2013. No Anexo A da NBR 16156:2013 constam 29 retardantes de chamas halogenados utilizados em equipamentos elétricos e eletrônicos, destes, 24 são retardantes de chamas bromados e 5 retardantes de chamas clorados. Neste contexto, a NBR 16156:2013 é mais efetiva, pois fornece uma lista mais específica do que a NBR 10004:2004.

Segundo a [literatura](#) o trióxido de antimônio (Sb_2O_3) é o único composto de antimônio que é utilizado como retardante de chamas e é considerado substância com possíveis efeitos cancerígenos. Logo, essa substância deveria constar no Anexo A da NBR 16156:2013 como substância que confere perigo aos resíduos elétricos e eletrônicos.

5 CONCLUSÕES

Os gabinetes de microcomputadores de mesa deste estudo têm a massa média de 10,56 kg. 81,71% desta massa é composta pela placa mãe, pela fonte de energia e pelos invólucros do gabinete (tampa, corpo e outras partes). Os outros componentes que são o drive de disquetes, o drive de CDs, os cabos IDEs, o HD e o cooler representam 18,29% da massa média dos gabinetes. A massa média de cada um dos oito componentes foi de: (1) drive de disquetes = 0,40 kg, (2) drive de CDs = 0,86 kg, (3) cabos IDEs = 0,14 kg, (4) HD = 0,47 kg, (5) cooler = 0,06 kg, (6) placa mãe = 1,10 kg, (7) fonte de energia = 1,27 kg e (8) tampa, corpo e outras partes = 2,41 kg, 2,69 kg, 1,16 kg (respectivamente).

Com relação à massa média de cada um dos sete tipos de materiais pelos quais os gabinetes são compostos, determinou-se que: (1) plásticos = 0,728 kg (6,89%), (2) metais não ferrosos = 6,832 kg (64,68%), (3) metais ferrosos = 1,698 kg (16,08%), (4) materiais com substâncias de interesse = 0,631kg (5,97%), (5) materiais considerados perigosos = 0,003 kg (0,03%), (6) fios e cabos = 0,318 kg (3,01%) e (7) outros materiais = 0,353 kg (3,34%).

Os plásticos representam a massa média de 0,728 kg dos gabinetes. Dentre os plásticos que compõe os gabinetes 45,14% são plásticos com identificação (0,328 kg) e 54,86% são plásticos sem identificação (0,400 kg).

Dos plásticos com identificação que compõe os gabinetes, após a segregação realizada obteve-se: plásticos ABS = 0,174 kg (52,96%), blendas ABS+PC = 0,064 kg (19,56%), blendas PS+PPE = 0,048 kg (14,51%) e blendas ABS+PBT = 0,042kg (12,97%).

A potencial taxa de reciclagem obtida para os gabinetes foi de 96,66%. Essa taxa representa a quantidade de materiais com possibilidade de ser reciclado nas amostras estudadas. A potencial taxa de reciclagem de cada componente foi de: (1) drive de disquetes = 95,74%, (2) drive de CDs = 98,07%, (3) cabos IDEs = 100,00%, (4) HD = 96,20%, (5) cooler = 82,67%, (6) placa mãe = 97,89%, (7) fonte de energia = 81,93% e (8) tampa, corpo e outras partes = 99,41%.

Com relação ao potencial de reciclagem de cada um dos sete tipos de materiais, conclui-se: (1) 6,89% de plásticos, (2) 64,68% de metais não ferrosos, (3) 16,08% de metais ferrosos, (4) 5,98% de materiais com substâncias de interesse, (5) 0,03% de materiais considerados perigosos e (6) 3,00% de fios e cabos foram considerados com 100% de reciclabilidade. Considerou-se o grupo (7) constituído de 3,34% de outros materiais como não reciclável.

Efetuararam-se 203 análises químicas no Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X. Nestas análises encontrou-se o total de 47 elementos químicos dos 118 elementos da Tabela Periódica. Foram eles: o actínio, alumínio, antimônio, ástato, bário, bromo, cálcio, cloro, cobalto, chumbo cromo, cézio, cobre, enxofre, escândio, estanho, estrôncio, fósforo, flúor, ferro, gálio, germânio, iodo, irídio, itérbio, manganês, molibdênio, nióbio, neodímio, níquel, ósmio, ouro, polônio, potássio, prata, rubídio, rênio, selênio, silício, tântalo, térbio, titânio, túlio, tungstênio, vanádio, zinco e zircônio. Em nenhuma análise efetuada neste estudo encontrou-se os elementos químicos: mercúrio e cádmio.

Dos 47 elementos químicos identificados, 13 constam como majoritários (aqueles que se encontram em quantidade superior a 50% na peça analisada). Foram eles: o alumínio, antimônio, bromo, cloro, cálcio, cobre, chumbo, estanho, ferro, níquel, silício, titânio e zinco.

Identificaram-se 6 elementos químicos que são considerados elementos críticos. Foram eles: o neodímio, térbio, gálio, cobalto, manganês e níquel.

As peças deste estudo consideradas com maior valor econômico, metais preciosos, metais terras raras e metais considerados críticos foram:

(1) Drive de disquetes:

- Fios de cobre: cobalto.

(2) Drives de CD:

- Capacitores: prata, gálio,
- Fio de cobre: cobalto.

(3) Cabos IDE:

- Metais conectores dos cabos: ouro.

(4) HD:

- Disco: neodímio, cobalto,
- Imã: cobalto.

(5) Cooler:

- Fios de cobre: cobalto.

(6) Placa mãe:

- Processador: ouro,
- Soquete do processador: ouro, escândio,
- Capacitores: prata, itérbio, gálio,
- Dissipador de calor do processador: neodímio, térbio,
- Dissipador de calor da memória RAM: gálio,

- Metal da parte traseira do processador: cobalto.

(7) Fonte de energia:

- Capacitores: térbio, gálio,
- Peça dentada: gálio,
- Fios de cobre: cobalto.

(8) Outras partes:

- Imã do alto falante: neodímio,
- Espelho do gabinete: túlio.

Com relação a classificação dos gabinetes de microcomputadores de mesa conforme o item 4.2.1.4 – toxicidade, segundo a NBR 10004:2004 Resíduos Sólidos – Classificação, chegou-se a seguinte conclusão:

- O alumínio, ferro, cobre e zinco se enquadram no Anexo G da NBR 10004:2004 e não são substâncias que conferem periculosidade aos resíduos. Os resíduos com estes elementos foram classificados como resíduo Classe II (não perigoso).
- O ouro, cálcio, fósforo, neodímio, enxofre, silício, estanho, titânio e vanádio não constam em nenhum anexo da NBR 10004:2004, portanto não são consideradas substâncias que causam preocupação segundo essa Norma. Os resíduos com estes elementos foram classificados como resíduos não perigosos.
- O bromo e o cloro também não constam em nenhum anexo da NBR 10004:2004. Os retardantes de chamas halogenados a base de bromo e a base de cloro podem ser perigosos ou não, dependendo do tipo de retardante utilizado na fabricação do produto.
- O bário, chumbo e cromo são elementos químicos que estão enquadrados no Anexo C da NBR 10004:2004 como substâncias que conferem periculosidade aos resíduos. Para classificar resíduos que contém estes elementos, deve-se efetuar o ensaio de lixiviação conforme a NBR 10005:2004 – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.
- O níquel e o antimônio estão enquadrados no Anexo C da NBR 10004:2004 e são consideradas substâncias que conferem periculosidade aos resíduos.

O níquel e seus compostos são substâncias confirmadas como cancerígenas para o ser humano. O composto de antimônio (Sb_2O_3) utilizado como retardante de chamas em computadores é considerado substância com possíveis efeitos cancerígenos para o homem. Logo, os resíduos que contém estes elementos foram classificados como resíduos Classe I (perigoso).

Com relação à classificação dos oito componentes que compõe os resíduos de gabinetes, pode-se inferir que:

(1) Drives de disquetes: não foi possível classificar a periculosidade dos drives de disquetes neste estudo segundo a NBR 10004:2004, pois são compostos de plásticos sem identificação que obtiveram o bromo como elemento majoritário.

(2) Drives de CDs: foram classificados como resíduo Classe I (perigoso), pois as PCIs possuem níquel e antimônio que são elementos considerados cancerígenos.

(3) Cabos IDE: foram classificados como resíduo Classe I (perigoso), pois as peças metálicas possuem níquel como elemento majoritário.

(4) HD: foi o componente que apresentou a maior quantidade de níquel como elemento majoritário, portanto esse componente foi classificado como resíduo Classe I (perigoso) devido à presença deste elemento cancerígeno.

(5) Coolers: não foi possível classificar a periculosidade dos coolers, pois são compostos de plásticos sem identificação que obtiveram o bromo como elemento majoritário e de fios encapados compostos de cloro.

(6) Placas mães: foram classificadas como resíduo Classe I (perigoso), pois foram encontrados os elementos níquel e antimônio que conferem periculosidade aos resíduos.

(7) Fontes de energia: foram classificadas como resíduo Classe I (perigoso), pois foram encontrados os elementos níquel e antimônio que conferem periculosidade aos resíduos.

(8) Tampas, corpos e outras partes: não se conseguiu classificar a periculosidade das tampas, corpos e outras partes deste estudo. Estes componentes são compostos de plásticos sem identificação que obtiveram o bromo como elemento majoritário e de fios encapados compostos de cloro. Mas pode-se inferir que as peças metálicas, que são a maior parte destes componentes, podem ser classificadas como resíduo Classe II (não perigoso).

A partir disto, os gabinetes de microcomputadores deste estudo foram classificados como resíduo Classe I (perigoso), segundo a ABNT NBR 10004:2004 Resíduos sólidos – Classificação.

RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que os componentes dos gabinetes de microcomputadores sejam, na medida do possível, desmontados manualmente, a fim de recuperar os materiais de forma mais eficiente e proteger recursos naturais. Estes componentes são constituídos de vários metais de grande importância como fonte de conservação e também representam uma importante fonte secundária de matérias primas para vários elementos químicos. As vantagens da desmontagem manual de REEE é que se consegue uma melhor descontaminação e uma melhor eficiência na triagem, mas a produtividade é baixa devido à quantidade de peças a serem desmontadas.

Existe uma necessidade de se identificar e padronizar os tipos de plásticos usados em EEE. A identificação dos tipos de polímeros, bem como do tipo de retardante de chamas utilizado na sua fabricação é de primordial importância. A identificação dos retardantes de chamas utilizados nos outros componentes também é fundamental para definir estratégias de descarte e reciclagem, bem como melhorar a valorização destes subprodutos no mercado.

A reciclagem de resíduos eletrônicos pode reduzir os riscos da falta de materiais críticos, caso o fornecimento destes, não consiga acompanhar o ritmo da demanda. Em vista das possíveis ou previsíveis dificuldades ligadas ao fornecimento dessas matérias primas essenciais, a criação de tecnologias para a recuperação destes elementos, a partir de resíduos deve ser considerada de extrema importância.

É necessária a criação de políticas sólidas voltadas para a reciclagem deste tipo de resíduo. Isso poderá incentivar maiores taxas de recuperação dos materiais contidos nos REEE. O apoio no desenvolvimento de tecnologias para processos de reciclagem mais eficientes pode tornar a reciclagem mais economicamente viável e atraente financeiramente. A criação de mecanismos eficientes de coleta de produtos no final de sua vida útil também é de primordial importância.

O processo de refino para as frações de REEE que contém recursos importantes, tais como o ouro, prata, platina, paládio, dentre outros, ocorre principalmente nos países europeus. A recuperação bem sucedida dos metais críticos dos produtos pós-consumo deste estudo, não depende apenas de uma boa logística reversa e de um bom pré-tratamento, mas também de métodos de refino avançados e instalações capacitadas e adequadas. Atualmente

não existe no Brasil nenhuma empresa que efetue a recuperação destes materiais. Para proteger nossos recursos, faz-se necessária a instalação deste tipo de empresa no nosso país.

Espera-se que o presente estudo contribua para um melhor conhecimento dos resíduos de gabinetes de microcomputadores de mesa e que os resultados obtidos possam ser utilizados como referência para estudos futuros. Espera-se também, que os resultados obtidos possam ajudar as empresas de desmontagem e melhorar os procedimentos em unidades de reciclagem de REEE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – ABES. **ALMG debate em Paracatu os impactos da mineração de ouro.**

Disponível em: <http://www.abes-mg.org.br/visualizacao-das-noticias/pt-br/ler/521/em-paracatu-almg-volta-a-debater-impactos-da-mineracao-de-ouro>. Acesso em: 17 mar. 2014.

AL-SALEM, S. M.; LETTIERI, P.; BAEYENS, J. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. **Waste Management – Elsevier**. 29 v. p. 2625-2643, 2009.

Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X09002190>. Acesso em: 24 abr. 2014.

ARAÚJO, Mishene Christie Pinheiro Bezerra. **Reciclagem de fios e cabos elétricos.** 2006. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2006.

ARAÚJO, Mishene Christie Pinheiro Bezerra; CHAVES, Arthur Pinto; ESPINOSA, Denise, Croce Romano; TENORIO, Jorge Alberto Soares. Electronic scraps – Recovering of valuable materials from parallel wire cables. **Waste Management – Elsevier**. 28 v. p. 2177-2182, 2008. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X11004260>. Acesso em: 30 set. 2014.

ARAÚJO, Marcelo Guimarães; MAGRINI, Alessandra; MAHLER, Cláudio Fernando; BILITEWSKI, Bernd. A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil. **Waste Management - Elsevier**. 32 v. p. 335-342, 2012.

Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X07003340>. Acesso em: 30 set. 2014.

ARAÚJO, Marcelo Guimarães. **Modelo de avaliação do ciclo de vida para a gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil.** 2013. 232 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) -- Programa de Planejamento Energético. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA – ABINEE. **Desempenho Setorial.** Disponível em:

<http://www.abinee.org.br/abinee/decon/decon15.htm>. Acesso em: 9 mai. 2014a.

_____. **Associados de Informática.** Disponível em:

<http://www.abinee.org.br/abinee/associa/infol.htm>. Acesso em: 9 mai. 2014b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004:** Resíduos Sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004a.

_____. **NBR 10005:** Procedimento para obtenção de extrato de lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.

_____. **NBR 10006:** Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c.

_____. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004d.

_____. **NBR 13230**: Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis – Identificação e simbologia. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 16156**: Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos – Requisitos para atividade de manufatura reversa. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR IEC 62474**: Declaração de material para equipamentos eletroeletrônicos. 2012.

AURUBIS. Disponível em: <http://www.aurubis.com/de/konzern/historie/>. Acesso em: 20 jun. 2014.

BASEL CONVENTION. **On the control of transboundary movements of hazardous wastes and their disposal**. 2014. Disponível em: <http://www.basel.int/Countries/StatusofRatifications/PartiesSignatories/tabid/1290/Default.aspx#a-note-1>. Acesso em: 15 mai. 2014a.

_____. **Text of the Convention**. 2014. Disponível em: <http://www.basel.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/1275/Default.aspx>. Acesso em: 16 mai. 2014b.

BAUER, Diana; DIAMOND, David; LI, Jennifer; SANDALOW, David; TELLEEN, Paul; WANNER, Brent. **Critical Materials Strateg**. Department of Energy's. 2010.

BAUER, Diana; DIAMOND, David; LI, Jennifer; McKITTRICK, Michael; SANDALOW, David; TELLEEN, Paul; WANNER, Brent. **Critical Materials Strateg**. Department of Energy's. 2011.

BEIRIZ, Fernando Antônio Santos. **Gestão ecológica de resíduos eletrônicos – Proposta de modelo contextual de gestão**. 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) -- Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Gestão. Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2005.

BELMONT TRADING. Disponível em: <http://www.belmont-trading.com/Home/About-Us.aspx>. Acesso em: 20 jun. 2014.

BEXIGA, Luís Miguel Beirão. **Reciclagem mecânica de placas de circuitos eletrônicos**. 2009. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) -- Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2009.

BIGUM, Marianne; BROGAARD, Line; CHRISTENSEN, Thomas H. Metal recovery from high-grade WEEE: A life cycle assessment. **Journal of Hazardous Materials - Elsevier**. 207-208 v. p. 8-1415, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389411012283>. Acesso em: 29 jun 2014.

BIZZOTO, Carlos Eduardo Negrão; BIANCHI, Luiz. **Informática Básica: Passo a passo, conciso e objetivo**. Ed. Visual Books. 233 p. 1998.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF, 5 de outubro 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 24 mar. 2013.

_____. **Lei nº 12.305 de 02 de Agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF, 02 de agosto de 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm. Acesso em: 24 mai. 2012.

_____. **Decreto nº 875, de 19 de Julho de 1993**. Promulga o texto da Convenção sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito. Brasília, DF, 19 de Julho de 1993. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D0875.htm. Acesso em: 24 mai. 2012.

_____. **Decreto nº 4.581, de 27 de Janeiro de 2003**. Promulga a Emenda ao Anexo I e Adoção dos Anexos VIII e IX à Convenção de Basileia sobre o Controle do Movimento Transfronteiriço de Resíduos Perigosos e seu Depósito. Brasília, DF, 27 de Janeiro de 2003. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2003/D4581.htm. Acesso em: 24 mai. 2012.

_____. Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Resolução CONAMA nº 420, de 28 de Dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília, DF, 28 de Dezembro de 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: 27 nov. 2014.

_____. Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Resolução CONAMA nº 452, de 04 de Julho de 2012**. Dispõe sobre os procedimentos de controle da importação de resíduos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito. Brasília, DF, 04 de Julho de 2012. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legipesq.cfm?tipo=3&numero=&ano=&texto=RES%C3%84DUOS>. Acesso em: 24 mar. 2013.

_____. Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Estudo sobre as bifenilas policloradas. Proposta para atendimento à Convenção de Estocolmo**. Anexo A – Parte II. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_prorisc_upml/_arquivos/estudo_sobre_as_bifenilas_policloradas_82.pdf. Acesso em: 15 mai. 2014.

BUCHERT, Matthias; MANHART, Andreas; BLEHER, Daniel; PINGEL, Detlef. **Recycling critical raw materials from waste electronic equipment**. 2012. Disponível em: <http://www.oeko.de/oekodoc/1375/2012-010-en.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2013.

BYRRO, Aluizio; BAMPA, Dário Roberto; CAVALCANTI, Carlos; FONTOLAN, Eduardo; MORALES, Guillermo; VALÉRIO, Hugo; GOVEA, Irineo; MAGALHÃES, Juarez. **A indústria elétrica e eletrônica em 2020. Uma estratégia de desenvolvimento - detalhamento e atualização de propostas.** Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE). 60 p. 2010. Disponível em:

<http://www.abinee.org.br/programas/imagens/2020.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2012.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT – CCME.

Electronics Waste. 2014. Disponível em:

http://www.ccme.ca/ourwork/waste.html?category_id=129. Acesso em: 24 mar. 2014.

CASTRO, Lucas Alves; MARTINS, Afonso Henrique. Recovery of tin and copper by recycling of printed circuit boards from obsolete computers. **Brazilian Journal of Chemical Engineering - Scielo.** 26 v. n.4, São Paulo, 2009.

CERETTA, Gilberto Francisco; DA ROCHA, Adilson Carlos; ISRAEL, Adriane. Poluição por resíduos sólidos: a problemática do “lixo” eletrônico. **Revista Tecnhoeng**, Paraná, 6 ed., jul-dez/2012, ISSN: 2178-3586. Disponível em:

http://www.cescage.edu.br/site/pagina/arquivos/revista/innovare/artigos/19f6POLUICAO_PO R_RESIDUOS_SOLIDOS .pdf. Acesso em: 25 mar. 2013.

CERNIAK, Samuel Nogueira. **Estudo e desenvolvimento de um capacitor eletrolítico de nióbio.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) -- Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

CIMÉLIA. Reciclagem de eletroeletrônicos. Disponível em: <http://www.cimelia.com.br/>. Acesso em: 20 jun. 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Informações toxicológicas. **Cromo.** Disponível em:

<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/cromio.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2014.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. **Reciclagem e Reinscrição.** 2014. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/descarte.php>. Acesso em: 9 mai. 2014.

_____. **Locais de reciclagem de eletroeletrônicos.** 2014. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/LocaisReciclagem.php>. Acesso em: 20 jun. 2014.

CROWE, Matthew; ELSER, Andrea; GÖPFERT, Bernhard; MERTINS Lutz; MEYER, Thomas; SCHMID, Jürgen; SPILLNER, Axel; STRÖBEL, Renate. **Waste from electrical and electronic equipment (WEEE): quantities, dangerous substances and treatment methods.** Europe Environment Agency. 80 p. 2003.

CUI, Jirang; ZHANG Lifeng. Metallurgical recovery of metals from electronic waste: a review. **Journal of Hazardous Materials – Elsevier.** 158 v. p. 228–256, 2008.

Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389408002161>. Acesso em: 29 out. 2014.

DAS VIRGENS, Thiago Alexsandro Novaes. **Contribuições para a gestão dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: ênfase nos resíduos pós-consumo de computadores.** 2009. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Urbana. Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2009.

DE MORAES, Viviane Tavares. **Recuperação de metais a partir do processamento mecânico e hidrometalúrgico de placas de circuito impresso de celulares obsoletos.** 2011. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2011.

DE SANTA HELENA, Renato Diaz. **Estudo cinético e termodinâmico da utilização do tanino de acácia negra (acacia mearnsii) na remoção de metais nobres para o processo de reciclagem de placas de circuito impresso.** 2009. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009.

DOS SANTOS, Carlos Alberto Frantz. **A gestão dos resíduos eletroeletrônicos e suas consequência para a sustentabilidade: um estudo de múltiplos casos na região metropolitana de Porto Alegre.** 2012. 131 f. Dissertação (Mestrado em Administração) -- Programa de Pós-Graduação em Administração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2012.

DOWA ECO-SYSTEM. Disponível em: <http://www.dowa-eco.co.jp/en/>. Acesso em: 20 jun. 2014.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY SCIENTIFIC - EFSA. Opinion on Tetrabromobisphenol A (TBBPA) and its derivatives in food. Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). EFSA Journal. 9(12) 2477. 67 p. 2011. Disponível em: <http://www.efsa.europa.eu/en/publications/efsajournal.htm>. Acesso em: 28 out. 2014.

ELECTRONICS RECYCLING COORDINATION CLEARINGHOUSE – ERCC. **Map of States With Legislation.** 2014. Disponível em: <http://www.ecycleclearinghouse.org/content.aspx?pageid=10>. Acesso em: 24 mar. 2014.

ELPRO ELEKTRONIK. Disponível em: <http://elpro-gmbh.com/78/behaelter-info>. Acesso em: 20 jun. 2014.

EWALD, Marcia Regina; MORAES, Daniela da Gama e Silva Volpe Moreira de. Normas técnicas apoiando o desenvolvimento da cadeia reversa de eletroeletrônicos. In: III Seminário Internacional sobre Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos – SIREE, 2013, Recife. **Anais eletrônicos...** Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 2013. Disponível em http://www2.portodigital.org/portodigital/ARQUIVOS_ANEXO/ANAIS_SIREE_2013.pdf. Acesso em: 20 ago. 2014.

EWASTE ASSOCIATION OF SOUTH AFRICA – eWASA. **Welcome to eWASA.** 2014. Disponível em: <http://ewasa.org/>. Acesso em: 24 mar. 2014.

FRANCO, Rosana Gonçalves Pereira. **Protocolo de referência para gestão de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos domésticos para o município de Belo Horizonte**. 2008. 162 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) -- Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2008.

FRENAY, J.; FERON, S. Domestic battery recycling in Western Europe. In: Second international symposium in recycling of metals and engineered materials. The Minerals, Metals & Materials Society - TMS. **Anais**. v. 2, p. 639-647, 1990.

GLENCORE METALS & MINERALS. Disponível em: <http://www.glencore.com/who-we-are/the-group/commodities/metals-and-minerals/>. Acesso em: 20 jun. 2014.

GRAEDEL, Thomas; ALLWOOD, Julian; BIRAT, Jean-Pierre; RECK, Barbara; SIBLEY, S Scott; SONNEMANN, Guido; BUCHERT, Matthias; HAGELÜKEN, Christian. **Recycling Rates of Metals – A Status Report**. A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. United Nations Environment Programme (UNEP). 48 p. 2011. Disponível em: http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/Metals_Recycling_Rates_110412-1.pdf. Acesso em: 23 out. 2014.

GUIDECHEM. Chemical trading guide. Disponível em: <http://www.guidechem.com>. Acesso em: 10 out. 2014.

HILTY, Lorenz. Electronic waste – an emerging risk? Environmental Impact Assessment Review. *Cience Direct - Elsevier* 25(5), p. 431-435, 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195925505000478>. Acesso em 23 jun 2014.

HISCHIER, Roland; CLASSEN, Mischa; LEHMANN, Martin; SCHARNHORST, Wolfram. **Life Cycle Inventories of Electric and Electronic Equipment: Production, Use and Disposal**. Ecoinvent report n° 18. EMPA Technology and Society Lab. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Duebendorf, Suíça, 2007. Disponível em: http://www.upe.poli.br/~cardim/PEC/Ecoinvent%20LCA/ecoinventReports/18_I_Electronics_components.pdf. Acesso em: 18 fev. 2014.

HUANG, Kui; GUO, Jie; XU, Zhenming. Recycling of waste printed circuit boards: a review of current technologies and treatment status in China. **Journal of Hazardous Materials - Elsevier**. 164 v., p. 399-408, 2009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389408012570#>. Acesso em 18 jan. 2013.

HUISMAN, Jaco; MAGALINI, Federico; KUEHR, Ruediger; MAURER, Claudia; OGILVIE, Steve; POLL, Jim. **2008 Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). Final Report**. United Nations University (UNU). Germany, Bonn, 377 p., 2008. Disponível em: http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/pdf/final_rep_unu.pdf. Acesso em: 25 mai. 2012.

IMAM, Afroz M. **Condition Monitoring of Electrolytic Capacitors for Power Electronics Applications**. 2007. Dissertation (Doctor of Philosophy). School of Electrical and Computer Engineering. Georgia Institute of Technology. Atlanta. EUA. 2007.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER OF THE WORLD HEALTH ORGANIZATION – IARC. Disponível em: <http://www.iarc.fr/index.php>. Acesso em: 03 nov. 2014.

INTERNATIONAL DATA CORPORATION – IDC. **IDC Releases. Segundo estudo da IDC, mercado brasileiro de computadores comercializou 30 unidades por minuto em 2012**. Disponível em: <http://www.idcbrasil.com.br/releases/news.aspx?id=1459>. Acesso em 09 mai. 2014a.

_____. **IDC Releases. Estudo da IDC mostra que vendas de PCs caíram 10% em 2013**. Disponível em: <http://www.idcbrasil.com.br/releases/news.aspx?id=1615>. Acesso em 09 mai. 2014b.

_____. **Predicciones 2013: Latinoamérica será la región de crecimiento más rápido en el mercado de ti en el mundo, según el reporte IDC Latin America predictions 2013**. Disponível em: <http://www.idclatin.com/releases/news.aspx?id=1444>. Acesso em: 09 mai. 2014c.

JAPÃO. Ministry of Economy, Trade and Industry – METI. **Home Appliance Recycling Law**. 2001. Disponível em: <http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/english/law/home.html>. Acesso em: 21 mar. 2014.

JUSBRASIL. **Lei nº 13.576 de 06 de Julho de 2009**. Institui normas e procedimentos para a reciclagem, gerenciamento e destinação final de lixo tecnológico no estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/817923/lei-do-lixo-tecnologico-lei-13576-09-sao-paulo-sp>. Acesso em: 25 mar. 2013.

KARA, Hüdai; CHAPMAN, Adrian; CRICHTON, Trevor; WILLIS, Peter; MORLEY, Nick. **Lanthanide Resources and Alternatives**. Oakdene Hollins, Buckinghamshire, 2010. Disponível em: http://www.oakdenehollins.co.uk/pdf/lanthanide_resources_and_alternatives_may_2010.pdf. Acesso em: 10 out. 2014.

KASPER, Ângela Cristina. **Caracterização e reciclagem de materiais presentes em sucatas de telefones celulares**. 2011. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.

KASPER, Angela Cristina; BERSELLI, Guilherme; DE FREITAS Bruno T.; TENORIO, Jorge Alberto Soares; VEIT, Hugo Marcelo. Printed wiring boards for mobile phones: Characterization and recycling of copper. **Waste Management – Elsevier**. 31 v. p. 2536-2545, 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X11003734>. Acesso em: 24 jun. 2014.

KUEHR, Ruediger. Environmental requirements and market access for developing countries: the case of electrical and electronic equipment. **Trade and Environment Review 2006**. United Nations. New York and Geneva, p. 122-124, 2006. Disponível em: http://www.unctad.org/en/docs/ditcted200512_en.pdf. Acesso em: 26 mai. 2012.

LEITE, Paulo Roberto; LAVEZ, Natalie; DE SOUZA, Vivian Mansano. Fatores da logística reversa que influem no reaproveitamento do lixo eletrônico. Um estudo no setor de informática. **Anais SIMPOI Fundação Getúlio Vargas**. 2009. Disponível em: http://www.simpoi.fgvsp.br/index.cfm?FuseAction=arquivo.monta&ID_EdicaoArquivo=2009&Pagina=busca_det&ID=166. Acesso em: 20 mai. 2012.

LISCESKI, Daniela. **O ciclo do descarte de resíduos de equipamentos de informática e de telecomunicações em Blumenau/SC**. 2011. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, SC, 2011.

MACEDO, Bernardo Gouthier; ALMEIDA, Silvia Faga de; FERREIRA, Flávia F.; MENTONE, Fernando. **A indústria elétrica e eletrônica em 2020. Uma estratégia de desenvolvimento**. Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE). 174 p. 2009. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/programas/imagens/2020a.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2012.

MAGALHÃES, Diego de Castilho Suckow. **Panorama dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE): o lixo eletroeletrônico – e-lixo**. 2011. 241 f. Dissertação (Mestrado em Direito, Relações Internacionais e Desenvolvimento) -- Programa de Pós-Graduação em Direito, Relações Internacionais e Desenvolvimento. Universidade Católica de Goiás, Goiânia, GO, 2011.

MARKLEY, Andy. **Poison PCs and toxic TVs**. Silicon Valley Toxics Coalition. 2001. Disponível em: <http://svtc.org/wp-content/uploads/ppc-ttv1.pdf>. Acesso em: 26 mai. 2012.

MARTINELLI, Armando Cozer; BARRADA, Renan Vicente; FERREIRA, Sandra Aparecida Duarte; DE FREITAS, Marcos Benedito José Geraldo; LELIS, Maria de Fátima Fonte. Avaliação da lixiviação do cádmio e níquel provenientes da degradação de baterias níquel-cádmio em uma coluna de solo. *Química Nova*. 37(3), 465-472. 2014. Disponível em: <http://quimicanova.sbg.org.br/imagebank/pdf/v37n3a13.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2014.

MARTINHO, Graça; PIRES, Ana; SARAIVA, Luanha; RIBEIRO, Rita. Composition of plastics from waste electrical and electronic equipment (WEEE) by direct sampling. **Waste Management – Elsevier**. 32 v. p. 1213–1217, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X12000700>. Acesso em: 23 jul 2014.

MEIRELLES, Fernando S. **25ª Pesquisa Anual do Uso de Tecnologia de Informação, 2014**. Fundação Getúlio Vargas. Disponível em: <http://eaesp.fgvsp.br/sites/eaesp.fgvsp.br/files/pesqti-gvcia2014ppt.pdf>. Acesso em: 9 mai. 2014.

MICROELECTRONICS AND COMPUTER TECHNOLOGY CORPORATION – MCC. **Electronics Industry Environmental Roadmap**. TX: MCC. Austin. 1996.

MONCHAMP, Amanda. **The Evolution of Materials Used in Personal Computers**. Second OECD Workshop on Environmentally Sound Management of Wastes Destined for Recovery Operations. 2000. Vienna, Austria, 8 p. 2000. Disponível em: <http://www.oecd.org/env/waste/2741586.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2012.

MORAZ, Eduardo. **Curso essencial de hardware: desvende os segredos dos especialistas em PCs**. São Paulo: Digerati Books, 2006. 128 p. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=iFwVtWRHeiYC&printsec=frontcover#v=onepage&q=%20&f=true>. Acesso em: 10 fev. 2013.

MSPC. Informações Técnicas. **Informações técnica Césio**. Disponível em: http://www.mspc.eng.br/quim1/quim1_055.shtml. Acesso em 10 nov. 2014.

NEW BOLIDEN. Disponível em: <http://www.boliden.com/Operations/Smelters/E-scrap-project/>. Acesso em: 20/06/2014.

OLDCOMPUTERS. **IBM Personal Computer (PC)**. Disponível em: <http://oldcomputers.net/ibm5150.html>. Acesso em: 15 mai. 2014.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD. **Technical guidance for the environmentally sound management of specific waste streams: used and scrap personal computers**. ENV/EPOC/WGWPR(2001)3/FINAL. Paris, França, 21 p. 2003. Disponível em: <http://ban.org/library/OECDGuidelineWEEE.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2012.

PALLONE, Simone. **Resíduo eletrônico: redução, reutilização, reciclagem e recuperação**. 2008. Disponível em: <http://www.comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao=32&id=379>. Acesso em: 13 jan. 2013.

PARK, Young Jun e FRAY, Derek J. Recovery of high purity precious metals from printed circuit boards. **Journal of Hazardous Materials – Elsevier**. 164 v. p. 1152–1158, 2009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389408013460>. Acesso em 20 ago 2014.

PERNAMBUCO. Agência Estadual do Meio Ambiente. **Lei nº 12.008 de 01 de Junho de 2001**. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências. PE, Olinda, 01 de Junho de 2001. Disponível em: http://www.cprh.pe.gov.br/legislacao/leis/leis_estaduais/leis_estaduais_2001/39804%3B77995%3B14101018%3B0%3B0.asp?c=0. Acesso em: 25 mar. 2013.

PINHEIRO, Evaldo Lima; MONTEIRO, Márcio Augusto; ALMEIDA, Renato Nogueira de; FRANCO, Rosana Gonçalves Ferreira; PORTUGAL, Susane Meyer. **Plano de gerenciamento integrado de resíduos de equipamentos elétricos, eletrônicos – PGIREEE** Fundação Estadual do Meio Ambiente, Belo Horizonte. 40 p. 2009.

PLANETA SUSTENTÁVEL. **A água que você não vê**. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/download/stand2-painel4-agua-virtual.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2014.

PREMIER FARNELL. **China RoHS – an overview**. Premier Farnell. 2009. Disponível em: http://uk.farnell.com/images/en_UK/rohs/pdf/china_rohs_overview_v7.pdf
Acesso em: 21 mar. 2014.

PROVAZI, Kellie; ESPINOSA, Denise Croce Romano; TENORIO, Jorge Alberto Soares. Estudo eletroquímico da recuperação de metais de pilhas e de baterias descartadas após o uso. Rem: Rev. Esc. Minas [online]. Ouro Preto, 65(3), 335-341. 2012.
PUCKETT, Jim; WESTERVELT, Sarah; GUTIERREZ, Richard; TAKAMIYA, Yuka. **The digital dump exporting reuse and abuse to África**. The Basel Action Network (BAN). 2005. Disponível em: <http://ban.org/library/TheDigitalDump.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2013.

REDEMTECH. **E-waste Regulations – Canada Federal and Provincial Legislation**. Disponível em: <http://www.redemtech.com/ewaste-canada.aspx>. Acesso em: 24 mar. 2014a.

_____. **E-waste Regulations – USA State Legislation**. Disponível em: <http://www.redemtech.com/ewaste-state.aspx>. Acesso em: 24 mar. 2014b.

RIO GRANDE DO SUL. Ministério Público - MP. **Decreto Estadual N.º 45.554, de 19 de Março de 2008**. Regulamenta a Lei n.º 11.019/97, de 23 de Outubro de 1997, e alterações, que dispõe sobre o descarte e destinação final de pilhas que contenham mercúrio metálico, lâmpadas fluorescentes, baterias de telefone celular e demais artefatos que contenham metais pesados no Estado do Rio Grande do Sul. RS, Porto Alegre, 19 de Março de 2008. Disponível em: <http://www.mp.rs.gov.br/ambiente/legislacao/id4803.htm>. Acesso em: 25 mar. 2013.

_____. Prefeitura de Porto Alegre. **Lei n.º 11.384, de 03 de Dezembro de 2012**. Estabelece regras para a destinação final ambientalmente adequada do lixo eletrônico produzido no Município de Porto Alegre e revoga a Lei n.º 9.851, de 24 de outubro de 2005. RS, Porto Alegre, 03 de Dezembro de 2012. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000033171.DOCN.&l=20&u=%2Fnethtml%2Fsirel%2Fsimples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>. Acesso em: 25 mar. 2013.

RODRIGUES, Ângela Cássia. **Impactos socioambientais dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: estudo da cadeia pós-consumo no Brasil**. 2007. 321 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, SP, 2007.

_____. **Fluxo domiciliar de geração e destinação de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no município de São Paulo/SP: caracterização e subsídios para políticas públicas**. 2012. 247 f. Tese (Doutorado em Ciências) -- Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2012.

SCHLUEP, Mathias; HAGELUEKEN, Christian; KUEHR, Ruediger; MAGALINI, Frederico; MAURER, Claudia; MESKERS, Christina; MUELLER, Esther; WANG, Feng. **Sustainable Innovation and Technology Transfer Industrial Sector Studies. Recycling – from e-waste to resources**. United Nations Environment Programme (UNEP). 120 p. 2009. Disponível em: <http://www.unep.org/hazardoussubstances/Publications/Publication/tabid/440/language/en-US/Default.aspx?BookID=4136>. Acesso em: 28 mai. 2012.

SCHLUEP, Mathias; MÜLLER, Esther; OTT, Daniel; ROCHAT, David. **e-Waste Assessment Methodology Training & Reference Manual**. 2012. Disponível em: http://www.ewasteguide.info/Empa_2012_Assmt-Methodology. Acesso em: 13 nov. 2012.

SECRETARIAT OF THE BASEL CONVENTION – SBC. **Where are WEee in Africa? Findings from the Basel Convention E-waste Africa Programme**. 2011. Disponível em: <http://www.basel.int/Implementation/TechnicalAssistance/EWaste/EwasteAfricaProject/Workshops/PanAfricanForumonEwasteNairobiMarch2012/tabid/2656/Default.aspx>. Acesso em: 13 jun. 2012.

SILVA, M.V.; RODRIGUES, A.M.; CARDOSO, V.V.; FERREIRA, E.; BENOLIEL, M.J.; ALMEIDA, C.M. Retardantes de chama bromados: Éteres difenílicos polibromados. (PBDEs). Acta Farmacêutica Portuguesa. 3(1), p. 67-78, 2014.

SIPI METALS. Disponível em: <http://www.sipimetals.com/>. Acesso em: 20 jun. 2014.

SOUZA, Kellie Provazi; TENORIO, Jorge Alberto Soares. Recuperação de metais de sucatas de pilhas e baterias pós-consumo utilizando processamento hidrometalúrgico. In: CBECIMat, 19. **Anais eletrônicos...** Campos do Jordão, 2010, p. 7388-7395. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/Public/42/056/42056364.pdf>. Acesso em 19 mar. 2014.

SOUZA, Kellie Provazi; ESPINOSA, Denise Croce Romano; TENORIO, Jorge Alberto Soares. Extração por solventes de metais de pilhas e baterias descartadas após o uso, estudo dos parâmetros de reextração. In: CONGRESSO DA ABM, 66, 2011, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2011, p. 486-496.

UMICORE BRASIL. Disponível em: <http://www.unicore.com.br/>. Acesso em: 20 jun. 2014.

UNIÃO EUROPEIA. **Directive 2011/65/UE 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 (recast). Official Journal L 044, p. 55, 2011. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2011:174:FULL&from=PT>. Acesso em: 18 fev. 2014.

_____. **Directive 2012/19/UE of the European Parliament and of the Council**. Of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). Official Journal L 197, p. 38-71, 2012. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019&qid=1409602622577&from=EN>. Acesso em: 18 fev. 2014.

_____. **Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council**. Of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. Official Journal L 312, p. 3-30, 2008. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&qid=1409678749089&from=EN>. Acesso em: 24 mai. 2014.

_____. **Regulation (EC) n° 1907/2006 of the European Parliament and of the Council.** Of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency. Official Journal L396, p. 1–849, 30.12.2006. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R1907-20130421&qid=1409233997172&from=EN>. Acesso em: 28 ago. 2014.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP, DEWA/GRID – Europe. **E-waste, the hidden side of IT equipment’s manufacturing and use.** Chapter 5. Environment Alert Bulletin. 2005. Disponível em: http://www.grid.unep.ch/products/3_Reports/ew_ewaste.en.pdf. Acesso em: 20 mai. 2012.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. **Obsolete Computers, “gold mine” or High-Tech Trash? Resource Recovery from Recycling.** USGS Fact Sheet FS-060-0a: 2001. Disponível em: <http://pubs.usgs.gov/fs/fs060-01/fs060-01.pdf>. Acesso em: 9 mai. 2014.

VARIN, Benoit; ROINAT, Pierre-Etienne. **The entrepreneur’s guide to computer recycling. Basics for starting up a computer recycling business in emerging markets.** United Nations Organization for Education, Science and Culture (UNESCO). 93 p., v. 1. 2008. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0017/001791/179165e.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2013.

VEIT, Hugo Marcelo. **Reciclagem de cobre de sucatas de placa de circuito impresso.** 2005. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005.

VEIT, Hugo Marcelo; DIEHL, Taina Rose; SALAMI, Anderson Paulo; RODRIGUES, Joel da Silva; BERNARDES, Andrea Moura; TENORIO, Jorge Alberto Soares. Utilization of magnetic and electrostatic separation in the recycle of printed circuit boards scrap. **Waste Management – Elsevier.** 25 v. p. 67-74, 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X0400162X>. Acesso 30 jul 2014.

VEIT, Hugo Marcelo; BERNARDES, Andrea Moura; FERREIRA, Jane Zoppas; TENORIO, Jorge Alberto Soares; MAFALTTI, Célia de Fraga. Recovery of cooper from printed circuit boards scraps by mechanical processing and electrometallurgy. **Journal of Hazardous Materials – Elsevier.** 137 v. p. 1704-1709, 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389406004614>. Acesso em: 15 out. 2013.

VOSSENAAR, René; SANTUCCI, Lorenzo; RAMUNGUL, Nudjarin. Environmental requirements and market access for developing countries: the case of electrical and electronic equipment. **Trade and Environment Review 2006.** United Nations. New York and Geneva, p. 61-91, 2006. Disponível em: http://www.unctad.org/en/docs/ditcted200512_en.pdf. Acesso em: 26 mai. 2012.

WILLIAMS, Eric D; AYRES, Robert U; HELLER, Miriam. **The 1.7 Kilogram Microchip: Energy and Material Use in the Production of Semiconductor Devices**. United Nations University, Jingumae 5-chome, Shibuya-ku, Tokyo, Japan, p. 53-67, 2002. Disponível em: <http://thayer.dartmouth.edu/~d30345d/courses/engs171/1kgMicrochip.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2012.

YAMANE, Luciana Harue; DE MORAES, Viviane Tavares; ESPINOSA, Denise Croce Romano; TENÓRIO, Jorge Alberto Soares. Recycling of WEEE: Characterization of spent printed circuit boards from mobile phones and computers. **Waste Management - Elsevier**. 31 v. p. 2553–2558, 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X11003114>. Acesso em: 24 ago. 2014.

YANG, Xiaoning; SUN, Lushi; XIANG, Jun; HU, Song; SU, Sheng. Pyrolysis and dehalogenation of plastics from waste electrical and electronic equipment (WEEE): A review. **Waste Management - Elsevier**. 33 v. p. 462–473, 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X12003492>. Acesso em 17 ago. 2014.