

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Fabricio Roberto Sena

**Evolução da Tecnologia Móvel Celular e o Impacto nos
Resíduos de Eletroeletrônicos**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Orientador: Prof. Tácio Mauro Pereira de Campos

Rio de Janeiro
Novembro de 2012



Fabício Roberto Sena

**Evolução da Tecnologia Móvel Celular e o Impacto nos
Resíduos de Eletroeletrônicos**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Tácio Mauro Pereira de Campos

Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof.^a Ana Cristina Malheiros Gonçalves Carvalho.

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Celso Romanel

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Luiz Antônio Palmeira Monteiro

Univ. Veiga de Almeida

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-RJ

Rio de Janeiro, 09 de novembro de 2012

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Fabricio Roberto Sena

Graduou-se em Engenharia Elétrica com ênfase em Telecomunicações no Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET-RJ, em 2000. Atualmente é Engenheiro Consultor da Área de Novas Tecnologias da operadora de telefonia VIVO.

Ficha Catalográfica

Sena, Fabricio Roberto

Evolução da tecnologia móvel celular e o impacto nos resíduos de eletroeletrônicos / Fabrício Roberto Sena; orientador: Tácio Mauro Pereira de Campos. – 2013.

185 f.: il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2013.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Engenharia urbana e ambiental. 3. REEE. 4. Telefone celular. 5. Reciclagem. 6. Mineração urbana. I. Campos, Tácio Mauro Pereira de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. III. Título.

CDD: 624

Agradecimentos

Ao meu orientador Professor Tácio Mauro Pereira de Campos pelas colocações precisas que ajudaram a encaminhar esse trabalho.

A Paula Enoy pela dedicação e simpatia.

A PUC-Rio pela oportunidade.

A minha esposa, Larissa, por estar sempre ao meu lado apoiando e incentivando.

Aos meus meninos, Gabriel e Felipe, pelo carinho em todas as horas.

A minha família pela paciência e compreensão durante os períodos de estudo.

Resumo

Sena, Fabricio Roberto; Campos; Tácio Mauro Pereira de (Orientador). **Evolução da Tecnologia Móvel Celular e o Impacto nos Resíduos de Eletroeletrônicos**. Rio de Janeiro, 2012. 185p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Os produtos da indústria de eletroeletrônicos possuem alta empregabilidade no dia a dia. No entanto, por terem um ciclo de vida curto impactam na demanda por recursos naturais não renováveis. Dentro do universo de equipamentos eletroeletrônicos, os telefones celulares estão entre os mais complexos e os que empregam maior quantidade de elementos químicos diferentes. Apesar de pequenos, são vendidos aos milhares, em parte devido a sua curta vida útil. Esses fatores aliados indicam a existência de riscos à saúde e ao meio ambiente, o que faz repensar como destinar corretamente esses aparelhos no pós-consumo. A proposta do trabalho é fazer uma análise de como os telefones celulares impactam no volume e na complexidade dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos, explicar a razão desse bem essencial ter uma vida útil tão curta e expor os motivos que tornam a sua reciclagem absolutamente necessária para continuar o seu desenvolvimento tecnológico, atender a demanda dos consumidores e reduzir o impacto ambiental da produção ao descarte.

Palavras-Chave

REEE; Telefone Celular; Reciclagem; Mineração Urbana.

Extended Abstract

Sena, Fabricio Roberto; Campos; Tácio Mauro Pereira de (Advisor). **Evolution of Mobile Phones Technology and the Impact on the Waste of Electrical and Electronic Equipment**. Rio de Janeiro, 2012. 185p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In the last century, through new production processes, the industry has increased the variety and availability of products offered to the population, providing better quality of life. This has happened because the inception of series production has offered a greater supply of consumer goods, including the Electrical and Electronic Equipment (EEE).

The evolution of electronics technology has provided, and will continue to provide a better quality of life than the one we used to have. However, the technology of these products is continuously evolving, and this brings advantages and disadvantages.

The advantages are achieved through improvements such as: the reduction of the energy consumption of the equipments; the improvement of television image; the increase of computers' processing power coupled with the reduction of their prices, which makes them affordable for a larger portion of the population.

However, the burden of this technological evolution is the increase of consumption of natural resources, the generation of greenhouse gases and waste. All this is due to the enhancement of the production needed to meet the demand for more products. And the problems go far beyond. Current products' life cycles are very short, especially the EEE. Soon enough they become obsolete for many reasons such as: they become technologically outdated, new products with innovative design emerge, and repairment has become financially unfeasible. There are dozens of types of equipment (such as refrigerators, TV sets, computers, light bulbs, toys, and mobile phones), split into dozens of models from various manufacturers that lose their usefulness and become Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE).

In addition to the above mentioned facts, in Brazil, the increase of the average income is escalating the annual sales of EEEs, therefore increasing the volume of WEEEs produced by the population.

At the end of their primary useful life, these thousands of different kinds of electronic products are kept in drawers, donated or discarded. The disposal of such products, whether done in a good or bad way for the environment will depend on the awareness and knowledge each consumer has on the subject, associated with a well done selective garbage collection, and an efficient final garbage treatment, in order to recover as much as possible of the raw material used in the manufacture of EEE, so that this material is reused in the production process, closing a life cycle from cradle to cradle.

One of the main parts of the EEE is the printed circuit board (PCB), essential for providing efficient interconnections between the various parts EEEs are composed of. It is responsible for executing very complex tasks, often has more than one layer of circuits, and various electronic components. Therefore, they are also responsible for the increase of the consumption of different types of precious metals and special alloys, despite of the development of new techniques and materials to cheapen production, improve efficiency, increase functionality, and reduce size (HESTER & HARRISON, 2009).

In 2006, T. McManus (McManus, 2006 cited in JEREMIAH et al, 2007) made an interesting comparison regarding the evolution of chemicals used in the manufacture of printed circuit boards. In the 80s 12 elements were used in PCI; in the following decade four other elements were included in the process; and in the first decade of this new century. other 45 elements should be included in the list.

Cell phones are highly usefull; they are the object of desire of many people, evolve very quickly, and have a very short life cycle. Despite being small, as they are produced by the thousands, they impact the demand for non-renewable resources, at a time when the world's reserves are compromised.

The mobile phone user wants social visibility and wants to be reached anywhere, any time. Therefore, the purpose of a cell phone is to meet the user's expectations regarding the ability to communicate by voice or data, wherever he or she is.

The improvement in terminals and networks has influenced the consumer's desire. The consumer no longer wishes to have a cell phone that only meets his

mobility expectations; he or she wants to show style and use up to date applications that eases his or hers everyday life.

Technology evolution has enabled improvements such as components miniaturization, and increased processing capacity. Such improvements have made possible the reduction of size of mobile phones, despite the greater amount of embedded features. Meanwhile, the networks that connect phones have increased voice capacity and data transmission rate speed.

The demand for innovation boosted the sales of cell phones, escalated their exchange rate, and makes them outdated in no time. This has intensified a problem that happens with other electronic equipment: the generation of WEEE.

This evidence stresses a problem that is more and more discussed, but to which there are few practical results: what should be done with the increasing number of obsolete cell phones (including terminals, modems and all accessories like battery chargers) held by the population? How to send them to recycling, and how to recycle all raw materials they contain? In Europe and in Japan it has been shown that the citizens are beginning to find out that in the end of their life cycles electronics are raw material for the industry and sources of wealth.

Several factors can be pointed out as major incentives for the exchange of devices by users: the interest in novelty; the obsolescence of older terminals; the need for the development of the mobile network and the use of different access technologies (such as AMPS, CDMA, TDMA, and WCDMA) to meet the demand of the population for more lines and for greater voice capacity; the amount of operators working in different frequency bands; and the dispute among operators to increase their number of customers through the offer of service packs.

The disposal of mobile phones is a major concern for environmentalists. Worldwide sales of mobile phones escalated from about 100 million units per year in 1997 to 779 million units in 2005, and it was estimated that they would reach one billion units in 2009 (SULLIVAN, 2006). The phone lines in which these devices will be used, should be over than six billion in 2011 and according to estimates from GSMA in partnership with the Wireless Association, will be near eight billion in 2015 (GSMA, 2012).

In Brazil, in 2010, 48 million mobile phones were sold to the domestic market, and 7.2 million were legally imported, which accounts for 55.2 million of new handsets in the market. But only 28.9 million new lines were sold. Therefore,

it is inferred that 26.3 million devices were used to replace the ones that have become obsolete in some way. The average weight for a cell phone at that year was 118g. Knowing this information is possible to estimate the amount of cell phones scrap for 2010 in Brazil, around 3091 tons, and for the last decade 20519 tons.

According to HESTER and HARRISON (2009), from 65% to 80% of the material contained in a cell phone is recyclable or reusable. However, if plastic is regarded as a source of energy, the retrieval is around 90%. The difference in the recycling percentage pointed out happens because nowadays, plastic is still secondary in the recycling industry of polymers because they have a low financial return since recycling processes are not fully developed.

Usually the WEEE contain up to 60 elements of the periodic table, and the waste of mobile phones correspond for up to 40 of such elements. For instance: a phone may contain base metals (such as copper and tin), specialty metals (such as cobalt, indium and antimony), and precious metals (like gold, silver, platinum and palladium).

Approximately 23% of the weight of a cell phone is metal, and most of it is copper. In a ton of terminals without their batteries, there are 3.5kg of silver (Ag), 340g of gold (Au), 140g of palladium (Pd), and 130kg of copper (Cu). However, in a single average phone, the precious metals are in the order of milligrams, since copper and cobalt (contained in lithium-ion batteries) are in the order of grams (HAGELÜKEN C. & MESKERS CEM).

For the results shown in following Table, it is considered: the amount of metals in the equipment and described in the paragraph above; the values per gram used in 2010 (DNPM, 2011); and the 26.2 million handsets sold in Brazil, in that year, to replace devices that have become obsolete. It illustrates that when a huge amount of phones becomes obsolete, large volumes of metals end up in landfills or are abandoned in drawers. All this potentially recoverable material would make a significant difference in the reduction of new extractions, energy consumption and CO₂ emissions. Moreover, taking into account the estimated figures, recycling might be a pathway at the very least subject to further investigation in order to confirm its economic viability, since the recycling of appliances that became obsolete in 2010, would generate more than \$ 67 million.

Table - Exercise to estimate the amount of metal used in mobile phones that became obsolete in Brazil, in 2010.

Obsolete equipment in Brazil in 2010	Weight per cell phone in 2010 (g)	Total weight (Ton)
26.2 million	118	3091.6

	Substance	(G)/ton	Metal total weight (Kg)	Mean values for minerals in 2010 **** in USD / kg	Estimated total value for 2010 USD
Substance per ton of phones (g)	gold *	340	1051.14	44288.26	46,553,337.77
	Silver	3500	10820.60	570.67	6,174,991.80
	Palladium *	140	432.82	16997.44	7,356,901.71
	Platinum **	3	9.27	51909.91	481,454.07
	Copper *	130,000	401,908.00	7.37	2,962,061.96

Average weight per unit (g)	Cobalt *	3.5 g/und	91700.00	39.40	3,612,980.00
-----------------------------	----------	-----------	----------	-------	--------------

Average% of this substance	Aluminum ***	3%	92748.00	2.11	195,920.88
----------------------------	--------------	----	----------	------	------------

Total					67,337,648.19
-------	--	--	--	--	---------------

Source: * (Schluep et al, 2009); ** (HESTER & HARRISON, 2009); *** (UNEP / BASEL, 2011); **** (DNPM, 2011).

Cell phone recycling is an activity that reduces the amount of these devices thrown in landfills or dumps, and aims to make the most of them as a source of raw material in the production of other products, whether electronic or not . In this way mobile phones will be reinserted in the production chain and their material will be reused in the life cycle of another product.

Apart from the environmental impact, the improper disposal of waste is a great misuse of raw material, because most of a WEEE is recyclable, if it reaches an efficient recycling industry.

An environmentally correct destination for WEEE's depends on several factors of reverse logistics: a population aware of the importance of separating the waste to be discarded; an efficient system of selective collection; and industrial

plants able to recycle WEEEs extracting their raw material and producing the least amount of waste.

The first Brazilian law on the treatment of solid waste was enacted in 2010. It states, among other things, the actors responsible for the steps of reverse logistics and sustainable production and consumption patterns, assigning responsibilities to all actors pertaining to life cycle of a product. However, regulations still need to be set forth concerning the treatment of WEEE, and its nature concerning dangerousness. This is an important matter that can restate even the reverse logistics already practiced by the operators before the enactment of the Law.

Although insignificant compared to the number of phones sold, reverse logistics, boosted by mobile operators, is a good initiative. In Brazil, parts of mobile phones discarded are separated and classified in recycling plants, and batteries are recycled, the most valuable parts - the printed circuit boards - are exported to countries where industries have know-how for this type of recycling. These industries extract from scrap up to 17 different metals, including precious metals. Such technology is not used in Brazil nowadays.

The mobile phone market lacks standardization for screens, batteries, cabinets, and other parts that would help to increase the lifetime of a device through its upgrade or replacement exchange of defective parts. A behavior that is giving satisfactory results is battery recharge through a Micro USB port. As this is a standardized port, it is possible to see a greater number of devices using the same kind of charger, but this effort alone is not enough.

The lack of laws and regulations regarding the WEEE along with the need of the society to be aware of the current standards hinder the development of programs and projects that enable efficient recycling, not only in Brazil but worldwide. The only country that has a competent recycling process is Japan, where the rates of reuse of materials are the highest on Earth. This is due to a population educated to behave in a rational and responsible way concerning solid waste, which allows government programs to send the material, at the end of the products useful life, to its producers.

The biggest challenges in Brazil are: to put into effect the Law on PNRS in the federal, state and municipal government spheres; to educate people to give the

correct destination to Brazilian WEEE; and to make the recycling of WEEE economically viable.

We still depend on government and companies interest to enable industrial plants which can to process all kinds of scrap found in electrical and electronic equipment, and not only those separable manually or by mechanical means. This way we will be reusing metals and creating a new source of raw material.

Keywords

WEEE; Cell Phone; Recycling; Urban Mining.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	19
1.1. Importância do trabalho	19
1.2. Objetivos do trabalho de pesquisa	21
1.3. Organização da dissertação	22
2 Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos	24
2.1. Um Resíduo Sólido	24
2.2. Definição e nomenclatura utilizada	25
2.3. A diversificação viabilizada pela eletrônica	26
2.4. Obsolescência programada	31
2.5. Ciclo de vida	34
2.5.1. Avaliação do Ciclo de Vida	35
2.5.2. Origem da ACV e Padronização da Metodologia	35
2.6. O consumo e o crescimento dos REEE	36
2.7. Composição dos REEE e seu impacto nos recursos minerais	41
2.8. Composição do REEE e seus impactos ambientais e sociais	46
2.9. A Mineração Urbana	49
2.10. Tratados e Legislação Internacional	52
2.10.1. Convenção de Basiléia – A Convenção sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito	52
2.10.2. Diretivas Europeias	53
2.10.3. China ROHS	57
2.10.4. HARL – Home Appliances Recycling Law	58
2.11. REEE no Brasil	60
2.11.1. Volumes gerados no Brasil e o comportamento do consumidor	60
2.11.2. Normas que regulamentam os REEE'S no Brasil	63
3 . . SUPORTE À TELEFONIA CELULAR, CONCEITOS E EVOLUÇÃO.	81
3.1. Telefonia Móvel Celular	82
3.1.1. Espectro de Frequências	82
3.1.2. Visão da rede	83
3.1.3. Serviços e aplicações dos terminais de telefonia móvel	84
3.2. Tecnologias de acesso múltiplo	85

3.2.1. FDMA	86
3.2.2. TDMA	87
3.2.3. CDMA	87
3.2.4. OFDMA	88
3.3. Evolução até o 4G	89
3.4. Evolução das tecnologias para terminais celulares	91
3.4.1. Primeira geração (1G)	91
3.4.2. Segunda Geração (2G)	93
3.4.3. Terceira Geração (3G)	97
3.4.4. Quarta Geração (4G)	100
3.4.5. Comparativo entre tecnologias de acesso	101
3.5. A história da telefonia celular no Brasil	103
3.6. Conclusão	105
4 TELEFONES MÓVEIS	106
4.1. Telefones móveis como parte dos REEE	106
4.2. A evolução do Terminal	108
4.3. Mercado brasileiro de celulares	110
4.3.1. Outros fatores que aumentam a troca de aparelhos dentro do mercado brasileiro.	111
4.3.2. Fabricantes de terminais e operadoras de telefonia presentes no território brasileiro e seus programas de reciclagem	114
4.4. Categorias de aparelhos encontrados no mercado	119
4.4.1. Smartphones	120
4.4.2. Tablets	121
4.4.3. Modems para redes celulares	121
4.5. Principais Sistemas Operacionais	123
4.5.1. Symbian	124
4.5.2. Windows Mobile e Windows Phone	124
4.5.3. RIM	124
4.5.4. iOS	125
4.5.5. Android	126
4.6. Blocos funcionais dos terminais	127
4.6.1. Placa de circuito impresso e microprocessadores.	128
4.6.2. Display de informações	130
4.6.3. Teclados	132
4.6.4. Bateria	132

4.6.5. Capa Plástica	134
4.6.6. Antena	134
4.6.7. Wi-Fi	135
4.6.8. Bluetooth	135
4.6.9. GPS	136
4.6.10. Acessórios	136
4.7. Materiais que compõem o aparelho	137
4.8. Tempo de vida útil dos celulares	140
4.9. Celulares de berço-ao-berço	141
4.10. O que vem por aí	142
4.11. Conclusão	145
5 CONCLUSÃO, DESAFIOS SUGESTÕES.	147
5.1. Desafios	149
5.2. Sugestões	150
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	152
7 GLOSSÁRIO	167
APÊNDICE I - PRINCIPAIS GRUPOS DE METAIS	169
APÊNDICE II - SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS DOS EEE	171
ANEXO I - CLASSIFICAÇÃO DOS EEE PELA WEEE-ROHS	181
ANEXO II – SUBSTÂNCIAS NOS TELEFONES MÓVEIS	184

Lista de figuras

Figura 1 – Primeiro telefone móvel celular.....	20
Figura 2 - Dúvida: como descartar um EEE	26
Figura 3 – Efeito termiônico utilizado em válvulas.....	28
Figura 4 - Foto do primeiro transistor	28
Figura 5 - Tipos de transistores	29
Figura 6 - Circuito Integrado	29
Figura 7 – Visualização da parte interna de um CI.....	30
Figura 8 - Exemplos de obsolescência programada.....	32
Figura 9 - Elementos de uma PCI ao longo do tempo.....	41
Figura 10 - Destinação do lixo eletrônico pela população brasileira	63
Figura 11 – Art. 33 da PNRS - Logística Reversa	74
Figura 12 – Rede de telefonia móvel celular	84
Figura 13 – Tecnologia de acesso FDMA	86
Figura 14 – Tecnologia de acesso TDMA	87
Figura 15 – Tecnologia de acesso CDMA.....	88
Figura 16 – Modelo de Pager utilizado no Brasil em 1990	89
Figura 17 – Gerações das Comunicações Móveis	91
Figura 18 - Redução dos aparelhos entre 1981 e 1998	92
Figura 19 - Cartões SIM.....	94
Figura 20 - Convergência de tecnologias.....	100
Figura 21 – Previsão da quantidade de assinantes por tecnologia de acesso no mundo até 2016.	103
Figura 22 - Gráfico de evolução do uso das tecnologias no Brasil	104
Figura 23 - Comparativo entre o crescimento populacional e o volume de linhas fixas e móveis desde o início de operação dessas últimas.	105
Figura 24 - Crescimento global da quantidade de linhas de telefonia móvel celular	107
Figura 25 - Evolução de terminais de acordo com as funcionalidades embarcadas	108
Figura 26 - Área de atuação da CTBC.....	119
Figura 27 - Yiso C893.....	122
Figura 28 – ZTE modelo MF100.	122
Figura 29 - Blackberry modelo Bold com track pad ao centro.	125
Figura 30 - Compatibilidade entre o hardware e as versões do iOS da Apple.....	126

Figura 31 - Símbolo do Android da Google	126
Figura 32 - HTC G1 - o primeiro aparelho com sistema operacional Android...	127
Figura 33 - Blocos de um telefone celular típico.....	128
Figura 34 - Placa de circuito impresso de um telefone celular de segunda geração e seus componentes	129
Figura 35 - PCI com componentes de muitas funções embarcadas.....	130
Figura 36 - DynaTAC 8000x lançado em 1983	131
Figura 37 – Celular Nokia 5110, GSM de segunda geração, lançado por volta de 1998, com sua antena externa aparente.....	134
Figura 38 – Celular Iphone4 da Apple, de terceira geração, com detalhe das antenas e do isolamento entre elas.	135
Figura 39 – Micro USB será padrão nos carregadores de celular	137
Figura 40 - Tabela Periódica com representação dos elementos encontrados nos celulares	139
Figura 41 - Ciclo de vida de um telefone celular – fluxo do produto, com emissões associadas e impactos causados pelo transporte	142
Figura 42 - Morph um celular conceito do fabricante Nokia.....	143
Figura 43 - Aparelhos Samsung com tela OLED Flexível	144
Figura 44 - Demonstração de transparência em telas de AMOLED	144
Figura 45 - Agrupamento de metais.....	170

Lista de tabelas

Tabela 1 - Vida útil dos EEE no Brasil (FEAM, 2009).....	33
Tabela 2 - Consumo de recursos naturais	38
Tabela 3 – Crescimento vegetativo do lixo elétrico e eletrônico no mundo com projeção até 2050.....	39
Tabela 4 – Crescimento do REEE no mundo considerando aumento de 5% ao ano.....	40
Tabela 5 – Materiais que compõem algumas categorias de lixo eletrônico	43
Tabela 6 – Composição de um computador pessoal com aproximadamente 27 Kg	44
Tabela 7 - Metais utilizados em EEE com maior demanda sobre a produção mundial.....	46
Tabela 8 - PIB per capita e crescimento da população brasileira	61
Tabela 9 - Classes sociais no Brasil e a distribuição de renda.....	62
Tabela 10 - Crescimento do REEE no Brasil	63
Tabela 11 - Tabela de alocação de frequências do SMP para as bandas A e B	83
Tabela 12 - Relação da data da ativação de algumas redes celulares Rede	90
Tabela 13 – As Gerações e a evolução das tecnologias.....	102
Tabela 14 - Mercado brasileiro de celulares de 2001 a 2010, em milhões de unidades.	111
Tabela 15 - Churn entre as operadoras móveis no Brasil	112
Tabela 16 - Volume anual de vendas (em milhões) de Sistemas Operacionais embarcados em telefones celulares	123
Tabela 17 - Tipos de baterias de celulares (TRINDADE, 2006)	133
Tabela 18 - Exercício para valorar as quantidades de metais empregadas em celulares que se tornaram obsoletos no ano de 2010 no Brasil.....	140
Tabela 19 - Tempo de vida útil de celulares.....	141

1 INTRODUÇÃO

1.1.Importância do trabalho

Desde o início da década de 50 estamos vivendo uma explosão da utilização de equipamentos eletroeletrônicos devido às possibilidades e facilidades que eles nos proporcionam. O desenvolvimento tecnológico de hardware e software viabilizou novos produtos e aplicações e, assim, muitas coisas que não existiam no passado mostraram-se úteis no dia-a-dia do presente, como é o caso dos telefones móveis celulares, que, pouco mais de 30 anos após a implantação de suas redes, arrebanharam bilhões de usuários ao redor do mundo.

A telefonia móvel, tal como a conhecemos hoje, é resultado da evolução dos elementos das redes de telefonia que a suportam e dos terminais dos usuários, onde uma não seria possível sem a outra. O motor dessa evolução é uma sociedade sempre sedenta por novidades, o que aguça a fome dos fabricantes por tentar galgar fatias maiores do mercado através de uma corrida para criar novas funcionalidades e aplicativos embarcados nos aparelhos que atraiam o desejo do público ou se mostrem necessários no dia-a-dia.

Essa corrida desenfreada, onde os jogadores são multinacionais, como Nokia, Samsung, Apple e Motorola, trouxe benefícios para a população através da evolução dos dispositivos. Esses deixaram de ser como o aparelho da Figura 1 que precisava ser transportado no porta-malas de um carro, pesava 40 Kg, custava \$20.000,00 e dificilmente deixava o usuário terminar uma conversa sem derrubar a ligação (BILLSTRÖM et al, 2006). Hoje, em termos comparativos, as ligações raramente são interrompidas por problemas do sistema, a área de cobertura do sinal de radiofrequência é imensa e os acordos de roaming¹, nacionais e internacionais, entre as operadoras de telefonia móvel celular,

¹ Roaming - Os assinantes de uma operadora de telefonia celular são registrados em uma base de dados (HLR – Home Location Register ou Registro de Identificação Local) onde fica registrado o perfil de cada assinante. Esse perfil contém informações, entre outros dados, se o aparelho está ligado e a rede onde o aparelho se encontra registrado. É baseado na rede da operadora na qual o aparelho está registrado que vem a definição de roaming. Se essa rede não for a rede de origem do assinante ele estará em roaming nacional ou internacional (SVERZUT, 2005).

permitem que o assinante viaje para praticamente qualquer lugar do mundo com capacidade de originar e receber ligações com o seu próprio número telefônico.



Figura 1 – Primeiro telefone móvel celular.
Modelo da Ericsson para o sistema MTA de 1956. (BILLSTRÖM et al, 2006)

A evolução do celular percorreu diversas etapas. Desde os pesados radiofones até os aparelhos multifuncionais modernos, passaram-se várias tecnologias de acesso², de pouca ou nenhuma padronização e sem qualquer preocupação com a reutilização ou o descarte dos equipamentos obsoletos. As mudanças no desenho e na operação dos aparelhos, somadas à elaboração de diversas aplicações, ajudaram a desenvolver nos usuários a falsa necessidade de troca constante dos telefones. Troca essa que se dá, geralmente, em períodos de 18 meses a três anos de utilização.

Atualmente, existe uma convergência de funcionalidades que foram embarcadas nos aparelhos e expandiram sua utilização. Eles não só “falam”, mas enviam mensagens, tiram fotos, filmam, armazenam a agenda de compromissos de seus donos, navegam na internet, acessam as redes sociais e, além de outros, ainda servem como modems para conectar computadores a internet, algumas vezes com taxas de transmissão de dados melhores que aquelas apresentadas pelas conexões a cabo.

Apesar dos benefícios inquestionáveis que o avanço da tecnologia produz nas telecomunicações, a sociedade ainda não se deu conta dos enormes prejuízos que a troca frequente dos aparelhos traz ao meio ambiente. A cada mudança de tecnologia, incremento nas aplicações ou novidade em seus formatos, milhões de aparelhos são aposentados. Esses aparelhos utilizados

² Tecnologias de Acesso – conforme será explicado no item 3.2 são as tecnologias empregadas para viabilizar a comunicação da estação móvel até a rede de telefonia comutada.

são, em sua maioria, reutilizáveis e, se não, aproximadamente 95% do material de cada aparelho é reciclável (GREENPEACE, 2010).

Esse trabalho tem por objetivo demonstrar os motivos dessa explosão de trocas de aparelhos celulares e sugerir medidas para se evitar que um enorme volume de terminais celulares obsoletos deixe de se tornar matéria-prima para novos produtos.

Pretende-se também verificar as possibilidades de reutilização da matéria-prima empregada na fabricação dos mesmos, desde seus componentes eletrônicos até suas carcaças.

Vale destacar que esses equipamentos utilizam a mais moderna eletrônica disponibilizada pela indústria, muitas vezes desenvolvida para aplicações específicas da telefonia móvel, quando não, para um determinado modelo de aparelho.

Toda essa tecnologia de ponta requer a aplicação de matérias-primas para a confecção dos equipamentos eletroeletrônicos, que muitas vezes estão com suas reservas já limitadas. Apesar do avanço nas pesquisas em busca de materiais alternativos aos empregados atualmente, poderá chegar o momento em que a reciclagem de eletroeletrônicos para a obtenção de matéria-prima será considerada mais vantajosa que a sua extração da natureza ou até mesmo sua única fonte.

1.2.Objetivos do trabalho de pesquisa

Esse trabalho pretende:

- Analisar a importância dos terminais celulares e a necessidade de sua evolução para atender à demanda por comunicação da população;
- Examinar a volumetria que representam os terminais celulares e sua relação aos resíduos eletroeletrônicos;
- Verificar as normas que regulamentam a destinação dos REEE, para ter um indicativo de como coletar, enviar e reciclar os celulares quando se tornarem obsoletos;
- Entender o impacto socioambiental dos terminais celulares, juntamente com os REEE, quando não tratados corretamente ao final da vida útil;

- Estudar os componentes químicos existentes dentro das partes que compõem os celulares para ter dimensão do potencial financeiro de sua reciclagem, bem como das dificuldades e do perigo que acarretam;
- Verificar a possibilidade de fabricar aparelhos celulares que tenham um ciclo de vida mais longo e como repensar um projeto para viabilizar essa concepção.

1.3.Organização da dissertação

Essa dissertação foi dividida em cinco Capítulos. Este primeiro Capítulo apresenta uma breve introdução sobre a necessidade do trabalho e os objetivos a serem alcançados.

Como os terminais móveis celulares são equipamentos eletroeletrônicos, houve necessidade de uma explanação, realizada no Capítulo II – Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos – sobre os resíduos gerados por eletroeletrônicos de um modo geral. Trata-se de uma análise sobre o curto tempo de vida útil desses equipamentos e a influência da obsolescência programada sobre ele. São feitas também reflexões sobre os problemas do lixo eletrônico e o porquê de algo aparentemente inofensivo ser um poluente para o meio ambiente e para a saúde humana. Foi incluída neste Capítulo uma explanação sobre as normas que regulamentam o tratamento desse tipo de resíduo, não só no Brasil, mas em algumas partes do mundo.

O Capítulo III – Suporte a Telefonia Celular, Conceitos e Evolução – pretende caracterizar o modo como ocorreu a evolução dos celulares no aspecto tecnológico, nos serviços oferecidos e na quantidade de novos assinantes, indicando assim como a sociedade se tornou dependente desse aparelho eletrônico. Explana a evolução da rede que suporta os serviços de telefonia e as razões que motivaram as diversas trocas de tecnologia, sem as quais seria impossível proporcionar serviço móvel à demanda apresentada nos dias de hoje. Esse Capítulo ainda traz um levantamento do panorama da situação das tecnologias no Brasil e no mundo, indicando dados extraídos de órgãos governamentais e das associações dos setores industriais e de serviços quanto ao volume por tecnologia, sua evolução e taxa de penetração, entre outros.

O Capítulo IV - Telefones Móveis - aprofunda a informação quanto ao terminal móvel celular. Dessa forma são descritas suas partes físicas, suas

funcionalidades, seus softwares e sua classificação; todos os fatores que influenciam a troca dos aparelhos. Nesse Capítulo ainda é verificado qual o material utilizado na produção e seus valores, indicando o potencial de reciclagem e mensurando o quanto pode ser desperdiçado em termos de recursos naturais, se esses equipamentos forem simplesmente descartados. Há também uma breve descrição sobre as políticas de reciclagem adotadas pelos fabricantes e operadoras existentes no Brasil.

E o Capítulo V – Conclusão, Desafios e Sugestões – faz uma retomada dos pontos principais do trabalho, objetivando delinear os desafios que o fim da vida útil dos celulares acarreta; sugerir, dentro do possível, ações que possam vir a diminuir tais efeitos e uma breve conclusão sobre o trabalho.

Este documento mostra ainda alguns anexos, onde são apresentados os dados e as tabelas referenciados no texto do trabalho.

2 Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos

2.1. Um Resíduo Sólido

É bem comum observar nas ruas das cidades, geralmente próximo ao horário da coleta de lixo, equipamentos eletroeletrônicos sendo descartados. Muitos são misturados a outros resíduos não tão nobres como os próprios, mas todos com o mesmo destino: aterros sanitários³, ou até mesmo lixões⁴, onde são depositados sem qualquer tratamento.

A evolução da tecnologia eletroeletrônica proporcionou, proporciona e continuará proporcionando à população mais qualidade de vida do que tínhamos no passado. No entanto, a tecnologia desses produtos está em constante evolução, o que traz vantagens e desvantagens.

As vantagens são obtidas por melhorias como a redução do consumo de energia nos equipamentos de refrigeração, a melhoria da imagem nos televisores, o aumento na capacidade de processamento dos computadores ou a redução dos preços dos equipamentos, permitindo que uma parcela maior da população tenha condições financeiras de adquiri-los.

No entanto, o ônus dessa evolução tecnológica é encontrado no aumento do consumo dos recursos naturais do nosso planeta, na geração dos gases do efeito estufa e na geração de resíduos. Tudo isso devido a uma intensificação do processo de produção necessária para atender a um mercado consumista crescente. Mas os problemas não param por aí. Os produtos atuais têm um ciclo de vida muito curto, e logo se tornam obsoletos por diversos motivos, como ficar tecnologicamente ultrapassados, pelo design inovador de novos produtos ou pela inviabilidade financeira de conserto. São dezenas de tipos de equipamentos

³ Em aterros sanitários, conforme define a NBR 8419/1984, é empregado um conjunto de técnicas de disposição de resíduos sólidos no solo previamente preparado. O resíduo é confinado em camadas cobertas com material inerte seguindo princípios de engenharia para ocupar a menor área possível, manter a segurança e causar o menor impacto ambiental. O aterro sanitário deve possuir instalações para manter o seu funcionamento e controle sanitário durante o período de operação e após o seu fechamento (ANVISA, 2006).

⁴ Lixões ou vazadouros a céu aberto, termo adotado em algumas regiões, e a denominação atribuída à disposição dos resíduos sobre o solo sem qualquer tipo de controle ou técnica. Não há controle ambiental ou sanitário e neles se mistura toda sorte de dejetos residenciais, comerciais, hospitalares, agrícolas e industriais. É um foco permanente de vetores de doenças como ratos e insetos (ANVISA, 2006).

(como geladeiras, televisões, computadores, lâmpadas, brinquedos e celulares), divididos em outras dezenas de modelos de diversos fabricantes.

Esses milhares de tipos de produtos eletroeletrônicos diferentes, ao final de sua vida útil primária⁵, acabam sendo guardados, doados ou descartados, tornando-se Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE). O modo como é feito esse descarte, se certo ou errado para o meio ambiente, dependerá da consciência e do nível de conhecimento sobre o assunto que cada consumidor tenha, seja ele indivíduo ou empresa, associado à disponibilização de uma coleta seletiva adequada e de um tratamento final eficiente que recupere boa parte da matéria-prima empregada na fabricação do EEE e reintroduza esse material no processo de produção, fechando um ciclo de vida do berço ao berço.

2.2. Definição e nomenclatura utilizada

O Equipamento Eletroeletrônico foi muito bem definido na Diretiva 2002/95/EC (RoHS) da Comunidade Europeia:

“Equipamento elétrico e eletrônico, ou EEE, é um equipamento dependente de corrente elétrica ou de campo eletromagnético para funcionar corretamente. Pode ser também equipamento para a geração, transferência ou medição de tais correntes e campos pertencentes às categorias estabelecidas no Anexo I-A da Diretiva 2002/96/EC (REEE) e projetado para uso com uma tensão nominal inferior a 1000 volts para corrente alternada e 1500 volts para corrente contínua.”

O lixo eletroeletrônico é uma novidade para a sociedade. Por esse motivo não existe uma padronização de nomenclatura que possa defini-lo através das diversas culturas existentes. São diversos nomes utilizados, algumas vezes mais de um dentro da mesma língua, a saber:

- Português: Lixo eletroeletrônico, REEE (Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos), e-lixo;
- Inglês: WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment), e-waste, e-scrap;
- Espanhol: Bajura Eletronica, RAEE (Resíduos de Aparatos Elétricos e Electrónicos);
- Frances: DEEE (Déchets d'Equipement Électrique et Électronique), e-Déchets.

⁵ Finalidade básica a que se destina o equipamento.

Mas o que define um REEE é o final da vida útil de um EEE. É nesse momento que o equipamento, já sem serventia, deve ser descartado de forma correta. No entanto, para a grande maioria da população surge a pergunta:

O que fazer com ele? Onde colocá-lo? Como bem ilustra a Figura 2.

Nessa mesma figura, tirada de uma publicação contida no site www.demos.org, ainda é ludicamente retratado o perigo contido nesses equipamentos.

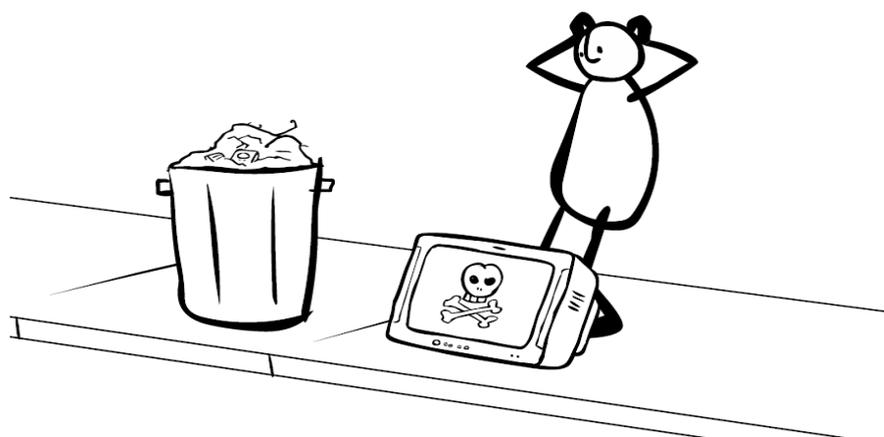


Figura 2 - Dúvida: como descartar um EEE
Fonte: (GROSSMAN, 2010)

2.3. A diversificação viabilizada pela eletrônica

A necessidade de utilizar máquinas e equipamentos em tarefas cada vez mais complexas, independente da interação humana, aumentou a demanda por pesquisas, que, vieram trazer respostas para dificuldades enfrentadas, e abrir caminho para novas possibilidades, acrescidas de desafios. Dessa forma o homem evoluiu, passando a utilizar o conhecimento adquirido nas soluções de problemas passados, para resolver novos problemas.

Nessa evolução do conhecimento humano, com a incessante busca de soluções para resolver problemas e criar mais opções de melhoria da qualidade de vida, foram surgindo avanços em diversas áreas, como: escrita, medicina, meios de transportes, saneamento, elétrica, eletrônica, comunicação etc. E, particularmente para esse trabalho, foram os estudos sobre os fenômenos elétricos que proporcionaram a base de conhecimento para a indústria eletroeletrônica atual.

Em 1600, o inglês William Gilbert publicou: *De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure* (Sobre os ímãs, os corpos magnéticos e o grande ímã terrestre). Em seu trabalho, Gilbert utilizou o âmbar para estudar a eletricidade estática e foi da origem grega do nome âmbar (élektron) que surgiu a palavra em inglês *electricity*, lançada em sua obra, conforme consta do site do National High Magnetic Field Laboratory⁶.

A eletricidade continuou a ser estudada, sendo que alguns resultados foram obtidos com o aparecimento da pilha elétrica de Alessandro Volta (GUEDES, 2000); com Thomas Edison veio a lâmpada incandescente em 1879 e o Efeito Edison em 1883⁷; e, em 1896, Guglielmo Marconi, um cientista italiano, usando um transmissor de centelha acoplado a uma antena, transmitiu as primeiras⁸ ondas eletromagnéticas⁹. Mas ainda não era possível processar, transmitir ou armazenar informações através da eletricidade; era necessário antes que os componentes ativos¹⁰ fossem desenvolvidos, ponto fundamental para a eletrônica.

O Efeito Edison ou efeito termiônico ocorre quando a energia cinética dos elétrons livres de um emissor metálico aumenta (na Figura 3 – Efeito termiônico utilizado em válvulas – é o filamento resistivo “F”) a ponto de permitir que esses elétrons ultrapassem o ponto de ruptura de atração entre os elementos, saltem da superfície do resistor e acelerem na direção do material coletor (na Figura 3 – Efeito termiônico utilizado em válvulas – é a placa A), que nas válvulas é o anodo. Esse efeito é utilizado nas válvulas eletrônicas encontradas atualmente em fornos de micro-ondas (no magnétron) ou monitores de vídeo (tubo de imagem), mas antes possibilitou o surgimento dos primeiros aparelhos de rádio, pois, para que houvesse transmissão sonora, era necessária a utilização delas para amplificar os sinais de radiodifusão na transmissão e recepção¹¹.

⁶ Fonte: <http://www.magnet.fsu.edu/education/tutorials/pioneers/gilbert.html>

⁷ Fonte: <http://www.portaldosaofrancisco.com.br>

⁸ Em algumas fontes bibliográficas é levantado questionamento se as primeiras ondas eletromagnéticas teriam sido transmitidas pelo austríaco de nascimento, Nicola Tesla.

⁹ Fonte: <http://www.fazano.pro.br/port01.html>

¹⁰ Os componentes eletrônicos ativos são fabricados com materiais semicondutores, como o germânio e o silício, e, por exemplo, podemos citar os diodos e os transistores, esses últimos servem para amplificação de sinais de corrente ou de tensão. A contrapartida são os componentes eletrônicos passivos como resistores, capacitores e indutores que são fabricados geralmente com materiais condutores e isolantes (BOYLESTAD & NASHELKY, 1994).

¹¹ Fonte: <http://www.mspc.eng.br/eletrn/radio110.shtml>

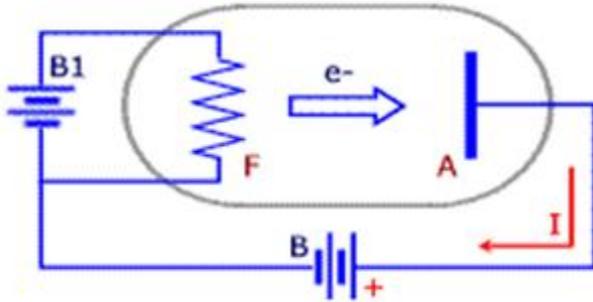


Figura 3 – Efeito termiônico utilizado em válvulas

O desenvolvimento tecnológico da eletrônica ganhou força com a utilização dos transistores, forma contraída das palavras “resistor de transferência” (do inglês, *TRANSfer reSISTOR*). Seu primeiro protótipo, Figura 4, surgiu nos Estados Unidos em 1947 pelas mãos de Walter Brattain e John Bardec (PAIXÃO & HONDA, 1999). No entanto, somente no início da década de 70 foi iniciado seu emprego nas primeiras calculadoras. Esse atraso se deve à dificuldade de solucionar problemas de impurezas nos materiais empregados na fabricação dos transistores. Mesmo depois de mais de 20 anos de estudos para iniciar sua comercialização, o transistor começou a substituir as válvulas e possibilitou uma revolução na indústria eletrônica em matéria de simplicidade de fabricação, redução de tamanho e velocidade de resposta aos impulsos elétricos. Era o início da trajetória da indústria eletrônica para fabricar os modernos equipamentos eletrônicos de alto desempenho como computadores, tablets e celulares.

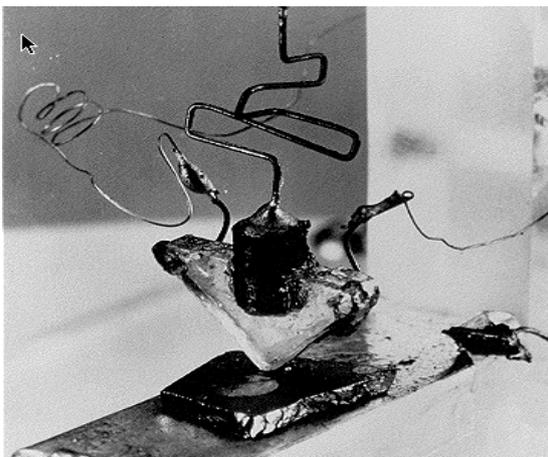


Figura 4 - Foto do primeiro transistor
Fonte: (SHIGUE)

Os transistores (Figura 5) são a base da eletrônica para a fabricação dos circuitos integrados (CI) e em 1965, Gordon Earl Moore, então presidente da

Intel, fez uma previsão: a cada 18 meses a quantidade de transistores dentro de um circuito integrado (Figura 6 e Figura 7) iria dobrar e os custos permaneceriam os mesmos. Essa previsão acabou tornando-se realidade e recebeu o nome de Lei de Moore. E o fato de termos maior capacidade de cálculo nos circuitos integrados significa que podemos realizar mais tarefas dentro do mesmo espaço de tempo e, com isso, sofisticar os equipamentos eletrônicos para que se tornem capazes de realizar tarefas que não eram possíveis (MARIMOTO, 2002)



Figura 5 - Tipos de transistores
Fonte: <http://news.softpedia.com>

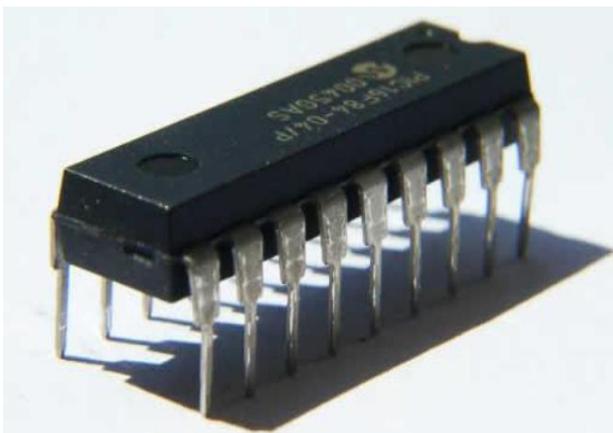


Figura 6 - Circuito Integrado
Fonte: ROCHA & MENDES, 2006

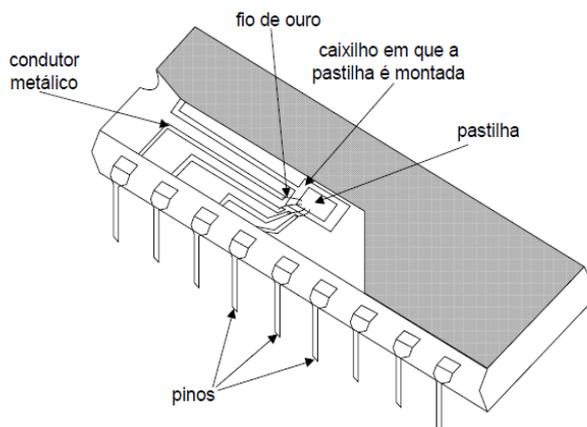


Figura 7 – Visualização da parte interna de um CI

Fonte: http://www.fca.pt/docs-online/722-650-4_pag3.pdf

A evolução da eletrônica e sua versatilidade para atender à demanda das mais diversas ideias permitiram que engenheiros e designers colocassem toda a sua criatividade em prática, certos de que suas necessidades poderiam ser supridas, senão naquele momento, mas no dia em que a tecnologia pudesse responder àquela expectativa.

A evolução da eletrônica se deu no sentido da miniaturização, novos materiais e aumento da complexidade. A miniaturização permitiu reduzir o tamanho de componentes que são embarcados nos aparelhos celulares, por exemplo, para viabilizar fotografias, GPS, vídeos de alta resolução e alta capacidade de memória. Os novos materiais permitiram mimos como as telas sensíveis ao toque, e a complexidade foi fruto do aumento da capacidade de processamento requerido para atender às novas funções dos equipamentos eletroeletrônicos.

O problema da produção desses equipamentos está no volume consumido pela população. As pessoas estão sempre ávidas por novidades e a eletrônica é capaz de satisfazer esse desejo. Nos últimos anos, além das trocas de tecnologias, como da analógica para a digital em máquinas fotográficas, televisores e celulares, quantos novos tipos de equipamentos eletrônicos surgiram e se popularizaram? Praticamente impossível mensurar tantos modelos surgidos desses equipamentos: MP3, MP4, celulares, máquinas fotográficas e filmadoras digitais, videogames, televisores de plasma, de LCD, de LED, OLED e as 3D, PAD's, pen-drives, DVDs, Blu-rays etc. E ainda deve ser considerada a linha de informática, onde somente os mais aficionados conseguem entender e acompanhar a rápida evolução dos processadores, placas mães, memórias, discos-rígidos, placas de vídeo etc.

Todos esses equipamentos eletroeletrônicos possuem uma vida útil muito curta em função da rapidez com que se tornam obsoletos, conforme citado a seguir:

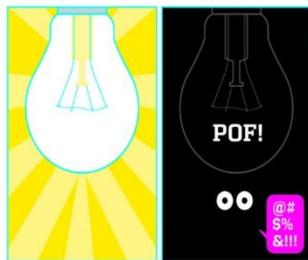
- Convergência de funções;
- Design inovador;
- Novas funcionalidades proporcionadas por tecnologias recentes;
- Modismo;
- Consumo desenfreado;
- Maior capacidade ou velocidade para execução de tarefas, mesmo que o equipamento atual não tenha sido plenamente utilizado.
- Obsolescência programada.

2.4. Obsolescência programada

Observando o dia a dia, podemos identificar exemplos práticos da obsolescência programada, como por exemplo: trocar uma televisão porque foi lançada outra com a borda mais fina, mesmo estando a primeira em perfeito estado de utilização; ou trocar um celular porque surgiu um modelo eleito pelos meios de comunicação como o melhor terminal celular, mesmo que o usuário não tenha conhecimento para utilizar funções mais complexas do que a consulta à agenda.

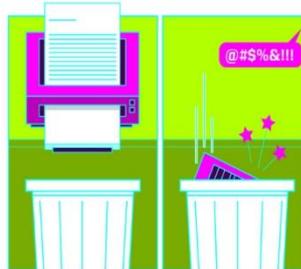
A obsolescência programada é a redução do tempo de vida útil de produtos com o intuito de obrigar o consumidor a adquirir novos produtos, aumentando a produção e os lucros. O tempo de vida útil, conforme o documentário da Cineasta COSIMA DANNORITZER (2010), *The Light Bulb Conspiracy*, pode ser limitado: por um chip que indica quantas folhas uma impressora irá imprimir antes dela parar com uma indicação de mau funcionamento; pela fragilidade dos materiais, meticulosamente testados, empregados na fabricação de uma lâmpada e que determinam a quantidade de horas que uma lâmpada ficará acesa antes que queime ou diminua a intensidade de seu brilho; pela produção de fios de nylon menos resistentes, fabricados pela DUPON, para a produção de meias-calças, o que obriga as mulheres a substituir constantemente as meias-calças; por baterias com poucos ciclos de recarga e sem disponibilidade para substituição como as empregadas nos primeiros i-Pods da Apple. Os exemplos citados podem ser melhor visualizados esquematicamente através da Figura 8.

DEFEITO DE FABRICAÇÃO



Lâmpadas

• Durante os anos 20 um cartel definiu que as lâmpadas teriam uma duração única em todo o mundo: 1.000 horas. Assim, as empresas conseguiriam controlar a demanda e a produção. Isso ocorre até hoje



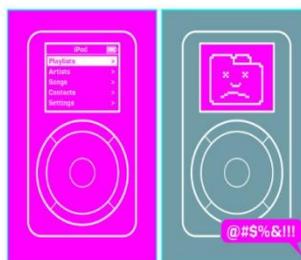
Impressora

• O número de páginas é registrado em um chip dentro da impressora. Quando a quantidade é atingida, a impressora trava. Para o consumidor, a mensagem é que a impressora quebrou e não há conserto



Indústria têxtil

• Em 1940, a Dupont criou o nylon, uma fibra sintética extremamente forte e revolucionária. Só tinha um problema: mulheres deixariam de comprar meias-calças novas. Os engenheiros da Dupont tiveram de projetar uma fibra mais fraca



iPod

• A primeira geração do iPod veio com um problema: a bateria foi projetada para ter uma vida útil curta, de 18 meses. Pior: ela não poderia ser trocada. A Apple foi processada e perdeu a ação. Teve de substituir a bateria e estendeu a garantia dos aparelhos

Figura 8 - Exemplos de obsolescência programada.

Fonte: <http://blogs.estadao.com.br/link/programado-para-morrer-2/>

Segundo o documentário, a ideia de obsolescência programada foi primeiramente aplicada em cima de lâmpadas incandescentes com bulbo de vidro. Isso ocorreu no final de 1924, quando um cartel de fabricantes de lâmpadas acordou que não produziriam lâmpadas que funcionassem por mais de mil horas, forçando a compra regular de novas lâmpadas pelos consumidores. Nesse episódio da história, a caracterização do emprego da obsolescência programada fica mais evidente, ao verificarmos que, quando Thomas Edson anunciou a fabricação de sua primeira lâmpada, em 1879, esta duraria 1.500 horas, e, em 1924, os fabricantes chegaram a anunciar orgulhosamente 2.500 horas de duração, capacidade muito além daquela limitada pelo cartel.

A primeira vez em que o termo obsolescência programada apareceu oficialmente escrito foi pelas mãos de Bernard London, em sua publicação *The New Conspiracy* de 1932¹², como sugestão para sair da crise que se abateu sobre os Estados Unidos a partir de 1929. Sua ideia era simples, produtos com menor vida útil forçariam os consumidores a comprar mais, mantendo a cadeia de produção em movimento e gerando mais empregos, mas não foi posta em prática naquela época. Atualmente não se tem documentação indicando

¹² Fonte: <http://blogs.estadao.com.br/link/programado-para-morrer-2/>

claramente a aplicação dessa teoria, no entanto, intui-se a existência prática dela.

Nos dias atuais, conforme a Tabela 1, é possível perceber o tempo médio de utilização e o peso médio de alguns produtos eletrônicos comercializados no Brasil (FEAM, 2009). No caso dos celulares, a vida útil (VU) é tão curta que é possível duvidar se os proprietários chegaram a explorar todas as funcionalidades e recursos que os dispositivos possuem.

Tabela 1 - Vida útil dos EEE no Brasil (FEAM, 2009).

Dispositivo	VU (anos)	peso (Kg)
Celular	2	0,09267
PC+Monitor	5	29,26
Televisão	10	32,45
Telefone fixo sem fio	2	0,473
Notebook	5	3,51
Radio e tocador de DVD/CD	5	10,4
Maq. Lavar roupa	11	37,51
Geladeira	15	71,95
Freezer	15	60,02

No caso dos computadores de mesa, os desktops, KANG & SCHOENUNG (2005) demonstraram que a vida útil dos PC's tem caído rapidamente. Em 1992 era de quatro anos e meio, em 1999 era de aproximadamente três anos e em 2006 de dois anos. No entanto, na pesquisa de KANG & SCHOENUNG (2005), foram considerados dados do mercado norte americano e sua publicação foi feita em 2005. Nesse trabalho foi considerada a estimativa da FEAM (2009), por essa ter aproveitado dados do mercado brasileiro e ser a mais recente.

Além do aumento da quantidade de resíduos de eletroeletrônicos, o ciclo de vida curto desses equipamentos implica outros fatores importantes como o aumento do consumo de recursos naturais, principalmente os minerais, e o aumento dos riscos ambientais em função de sua disposição, conforme será visto adiante.

Em resumo, o lixo eletrônico é resultado de uma composição da diversidade de produtos proporcionados pela evolução tecnológica, de uma população que descobriu prazer em adquirir e utilizar esses produtos e de um forte incentivo dado ao consumo com a justificativa de manter a economia girando.

2.5. Ciclo de vida

Entender o significado do ciclo de vida dos produtos e serviços que usufruímos nos permite ampliar a compreensão de nossa responsabilidade sobre eles e atuar de forma mais efetiva para melhoria do meio em que vivemos.

O homem com sua inteligência criativa tem sempre buscado melhorar suas condições de vida. Para se proteger das intempéries se abrigou nas cavernas, para se proteger do frio criou as roupas, para comer começou a plantar e a criar animais.

Com o passar dos anos compreendeu que a roupa que ele vestia, a comida da qual se alimentava, e a casa que o abrigava tinham uma história e de algum modo afetavam a natureza e dessa forma contribuíam para alterar a vida no planeta.

Surgiu a necessidade de desenvolver uma técnica que facilitasse o entendimento sobre a sustentabilidade da sua camisa, dos tijolos, da sua televisão, da água, da luz etc. Era necessário analisar o ciclo de vida dos produtos manufaturados pelo homem para entender a dimensão do impacto sobre o ambiente em que ele vive.

Compreender de onde vieram as matérias-primas utilizadas, para onde irão os produtos fabricados, os subprodutos e os resíduos de processo, bem como os efeitos das emissões geradas no meio ambiente é um passo de fundamental importância para o gerenciamento sustentável dos bens de consumo durante seus ciclos de vida.

Conforme é mencionado na Lei Federal 12.305, de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos, o ciclo de vida de um produto é:

“IV - ciclo de vida do produto: série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final;”

Sendo assim, o conhecimento do ciclo de vida de um produto é o primeiro passo na busca do desenvolvimento sustentável. Idealmente, o ciclo de vida se inicia quando os recursos para sua fabricação são removidos de sua origem na natureza, o berço, e finaliza quando o material retorna para a terra, o túmulo (MOURAD et al, 2002).

2.5.1. Avaliação do Ciclo de Vida

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de um produto é um instrumento que permite a contabilização ambiental, onde se consideram as retiradas de recursos naturais e energia da natureza e as “devoluções” para a mesma.

A contabilidade tem início na natureza em termos do uso de recursos naturais como água, minérios, florestas, petróleo e atmosfera e considera todas as etapas intermediárias necessárias para a obtenção do produto estudado como fabricação, distribuição, utilização, reciclagem e disposição final.

As emissões do sistema para água, terra e ar são avaliadas quanto aos impactos potenciais em relação à saúde humana e ao meio ambiente (como efeito estufa e degradação de recursos).

A ACV tem uma abordagem holística (do grego, holos = todo, abordagem ampla, que considera todas as partes de um sistema bem como a inter-relação entre elas) sobre o “custo ambiental” de determinado produto ou serviço. Dessa forma, quando se faz a ACV para um determinado produto, considera-se todo o processo que o originou, as emissões e os impactos potenciais associados ao seu ciclo de vida. A visão é ampla (MOURAD et al, 2002).

2.5.2. Origem da ACV e Padronização da Metodologia

Nos anos 60, com a crise do petróleo e com o expressivo aumento da população mundial, a sociedade começou a questionar o limite da extração de recursos naturais, especialmente de combustíveis fósseis e de recursos minerais escassos, bem como o impacto da poluição gerada por essa atividade.

Nos anos 80, começaram os esforços para acordos mundiais de redução do potencial de efeito estufa e de agentes deterioradores da camada de ozônio. Os acontecimentos clamavam por uma emergente ação internacional que pudesse resolver tais problemas, tornando necessária a contabilização de emissões para o ar e para a água. A nova metodologia ganhou vários nomes e pode ser encontrada como: ecobalço (ecobalance); ecoperfil (ecoprofile); análise de berço ao túmulo (cradle to grave); análise do ciclo de vida (life cycle analysis) ou avaliação do ciclo de vida (life cycle assessment)

A padronização internacional de práticas de gerenciamento ambiental tornou-se prioritária, o que deu origem à série de normas ISO 14000. Estas normas foram desenvolvidas em duas frentes, uma dedicada à harmonização de

práticas de certificação e de auditorias ambientais, a ser aplicada na avaliação de organizações, e outra voltada às ferramentas de avaliação do produto ou do serviço em relação ao meio ambiente, ou seja, relativas aos rótulos, declarações ambientais e à metodologia de avaliação do ciclo de vida.

A Avaliação do Ciclo de Vida é uma técnica normatizada pelas ABNT NBR ISO 14040:2009 e 14044:2009, que contabiliza recursos utilizados, emissões geradas e avalia os possíveis impactos ambientais.

2.6. O consumo e o crescimento dos REEE

A Revolução Industrial, iniciada na Inglaterra em meados do século XVIII, trouxe diversas alterações no modo de vida da sociedade, levando os trabalhadores a deixarem de lado a manufatura para trabalharem como empregados nas fábricas, perdendo assim o controle sobre o produto que seria produzido e sobre o lucro gerado por esse. A Revolução gerou um aumento no fluxo de deslocamento da população rural para os aglomerados fabris. Também significou uma melhoria na eficiência dos processos de produção, o que permitiu ampliar a diversidade e quantidade de produtos fabricados. Essa economia de escala barateou o valor final para o consumidor e estimulou o consumo, num processo sempre crescente que culminou na sociedade consumista que existe nos dias de hoje.

Essa evolução nos processos de produção possibilitou inúmeros recursos e inovações para a sociedade. Foram avanços nos transportes, no campo, nas comunicações, na saúde etc. Assim, a sociedade cresceu, e a maioria dos indivíduos, que dela fazem parte, deseja e vai continuar desejando utilizar as benesses de um mundo industrializado. Contudo, houve um preço a ser pago para sustentar o aumento de consumo de produtos industrializados. Desde a Revolução Industrial tem sido necessário aumentar gradativamente a exploração dos recursos naturais, como alimentos, energia, água e fibras, (MARCOVITCH, 2006).

Em maio de 2011, o Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP - United Nations Environment Programme) publicou um relatório chamado “Desacoplando o Uso de Recursos Naturais e os Impactos Ambientais do Crescimento Econômico”. Nele, é feito um alerta sobre as condições atuais de consumo dos recursos naturais, como minerais, combustíveis fósseis e biomassa, e seu ritmo de crescimento. Impulsionados pelo crescimento

econômico e demográfico, durante o século XX, a extração anual de materiais de construção cresceu por um fator de 34, a de minérios e minerais por um fator de 27, os combustíveis fósseis por um fator de 12, a biomassa por um fator de 3,6, e a extração da matéria total por um fator em torno de 8, enquanto o PIB aumentou 23 vezes. A projeção para 2050, se o ritmo de crescimento permanecer, é de estarmos consumindo anualmente 140 bilhões de toneladas de recursos naturais, três vezes o consumo atual (FISCHER-KOWALSKI et al, 2011). Os países industrializados possuem as maiores taxas de consumo de recursos naturais. Os que possuem alta densidade populacional, (entre os quais muitos países europeus e Japão) têm uma taxa média de 13 toneladas/habitante, enquanto aqueles com baixa densidade populacional (por exemplo, Finlândia, EUA e Austrália) têm uma taxa duas vezes mais alta, embora o rendimento e conforto material não difiram substancialmente. Para o Brasil, e África do Sul, é calculada uma taxa média de 10 toneladas/habitante, e a metade disso para a China.

O relatório indica que, se um esforço for feito, será possível desacoplar o crescimento econômico do crescimento do consumo de recursos naturais. O desenvolvimento poderá se dar de forma mais sustentável, aproveitando melhor os recursos através de avanços tecnológicos e novos padrões de produção e de consumo. Em função dos esforços adotados, o relatório indica três possíveis cenários, descritos abaixo e demonstrados na Tabela 2:

- Negócios como o de costume e convergência – nesse cenário os países desenvolvidos manteriam o seu consumo per capita e os países em desenvolvimento aumentariam seu consumo até o mesmo nível. Essa seria a pior situação e precisaríamos de três vezes mais recursos naturais do que utilizamos hoje;
- Contração moderada e convergência – nesse cenário os países desenvolvidos reduziram pela metade o seu consumo per capita e os países em desenvolvimento aumentariam seu consumo até o mesmo patamar para o qual os desenvolvidos reduziram os seus. Essa situação ainda aumentaria em 40% a necessidade de extração de recursos em relação ao ano de 2000;
- Forte contração e convergência – nesse cenário os níveis de consumo mundial dos recursos naturais, tanto em países industrializados como os em desenvolvimentos, convergiriam para seis toneladas per capita ao ano.

Tabela 2 - Consumo de recursos naturais

	Referência	Cenário 1: Negócios como o de costume e convergência	Cenário 2: Contração moderada e convergência	Cenário 3: Forte contração e convergência
Ano	2000	2050	2050	2050
População mundial (bilhões)	6	8,9	8,9	8,9
Consumo mundial per capita (tons/per capita/ano)	8	16	8	5,5
Consumo mundial (bilhões tons/ano)	49	141	70	49

Em decorrência do crescimento do consumo de recursos naturais, aumentou a quantidade de resíduos gerados durante o processo de fabricação e, também, daqueles gerados após encerrar o tempo de vida útil dos produtos industrializados.

A cada ano a quantidade de resíduos sólidos gerados pela sociedade aumenta em volume e complexidade, trazendo maiores preocupações para os ambientalistas e dificuldades de gerenciamento pelos governos. Quem poderia dizer, na década de 50, que estaríamos colocando na lata de lixo tantos aparelhos eletrônicos sequer imagináveis para aquela época?

Segundo dados do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, são 20 a 50 milhões de toneladas de lixo eletrônico gerados a cada ano. Essa informação foi divulgada por SCHWARZER et al (2005) e a tradução do texto pode ser lido abaixo:

“A produção de dispositivos elétricos e eletrônicos é o setor com crescimento mais rápido dentro da indústria de manufatura nos países industrializados. Ao mesmo tempo, inovação tecnológica e marketing intenso geram um rápido processo de substituição. A cada ano, de 20 a 50 milhões de toneladas de lixo de equipamentos elétrico e eletrônicos (e-waste) são gerados em todo o mundo, o que poderia trazer sérios riscos à saúde do homem e ao meio ambiente.”

A afirmação mencionada acima ocorreu em janeiro de 2005, ou seja, no início do ano, então as estimativas de lixo composto por equipamentos eletroeletrônicos são correspondentes ao ano de 2004. Se projetarmos esses valores em cima dos dados de crescimento da população mundial, teremos uma ideia de crescimento vegetativo¹³ sobre o montante de lixo eletroeletrônico gerado no mundo até o ano de 2050. Através desses dados podemos perceber

¹³ Está sendo considerado um crescimento vegetativo, pois não foram levados em consideração os impactos no aumento na quantidade anual de lixo eletrônico mundial, causados pelas novas tecnologias que estão tornando obsoletos, de forma cada vez mais rápida, modelos de televisões, de celulares, de videogames, e de toda a sorte de equipamentos eletroeletrônicos.

que o desafio da correta destinação do lixo é grande e se tornará ainda maior para as gerações vindouras, pois: se dispusermos esse material, sem tratamento, ele contaminará o meio ambiente que ficará para o futuro; para produzir esses equipamentos foi demandada grande quantidade de recursos naturais e, se realmente viermos a ter escassez desses últimos, poderemos depender da reciclagem desses equipamentos obsoletos para continuarmos obtendo matéria-prima para indústria.

A Tabela 3 a seguir ilustra a estimativa de volume de eletrônicos, tomando como base o volume de lixo eletrônico no início de 2005 e utilizando como taxa de crescimento a mesma empregada para se estimar a população mundial até o ano de 2050. Essa taxa de crescimento da população foi obtida a partir de dados disponibilizados pelo U.S. Census Bureau, International Data Base (U.S. CENSUS BUREAU, 2012).

Tabela 3 – Crescimento vegetativo do lixo elétrico e eletrônico no mundo com projeção até 2050.

Ano	População Mundial *	Cresc Pop. Mundial em relação a 2005 (%)	Qtd mín. E-waste (milhões ton)	Qtd máx. E-waste (milhões ton)
2005	6479962284	-	20000000	50000000
2010	6868528206	6,00%	21199285	52998211
2020	7632247295	17,78%	23556456	58891140
2030	8323406015	28,45%	25689674	64224186
2040	8924579672	37,73%	27545159	68862898
2050	9441101083	45,70%	29139370	72848426

Fonte: * U.S. Census Bureau, International Data Base

No entanto a Tabela 3 foi gerada com base na taxa crescimento vegetativo da população mundial. Mas há fontes que sugerem um crescimento do lixo eletroeletrônico de até 5% ao ano (FERREIRA & FERREIRA, 2008). Se esse crescimento se confirmar, em 2013, já teremos ultrapassado o volume de REEE esperado para 2050, conforme a Tabela 4.

O volume do lixo eletrônico realmente deve continuar aumentando, segundo relatório emitido em 2010 pelo STEP (Solving the E-Waste Problem), uma iniciativa de várias organizações das Nações Unidas que visa resolver o problema do lixo eletrônico. O relatório informa: em 1990 foram 19,5 milhões de toneladas de equipamentos eletroeletrônicos colocados no mercado; em 2000

foram 34 milhões; em 2010 foram 57,4 milhões e em 2015 a previsão é de que serão colocados no mercado 76,1 milhões de toneladas de EEE (STEP, 2010).

Tabela 4 – Crescimento do REEE no mundo considerando aumento de 5% ao ano

Ano	População Mundial *	Aumento de 5% ao ano do REEE em relação a 2005 % *	Qtd mín. E-waste (milhões ton)	Qtd máx. E-waste (milhões ton)
2005	6479962284	-	20000000	50000000
2006	6558066329	5,00%	21000000	52500000
2007	6636826517	5,00%	22050000	55125000
2008	6715207267	5,00%	23152500	57881250
2009	6792892971	5,00%	24310125	60775313
2010	6868528206	5,00%	25525631	63814078
2011	6946043989	5,00%	26801913	67004782
2012	7023324899	5,00%	28142008	70355021
2013	7100414131	5,00%	29549109	73872772
2014	7177568852	5,00%	31026564	77566411
2015	7254549710	5,00%	32577893	81444731

Fonte: * U.S. Census Bureau, International Data Base

A volumetria para 2015, segundo o relatório do STEP (2012), ultrapassaria a estimativa feita com base no crescimento vegetativo da população da Tabela 3 e se aproximaria da quantidade máxima de REEE, se considerado o crescimento de 5% ao ano, da Tabela 4.

Outro motivo para o aumento do volume do lixo eletrônico é o crescimento do setor de Tecnologia de Comunicação e Informação (TIC) nos países em desenvolvimento, principalmente os BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China). A OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) observou que de 2000 a 2005 somente a China teve um crescimento de 22% em sua área de TI (Tecnologia da Informação), sendo que em 2006 ela apareceu em 6º lugar entre os países com os maiores mercados de TI, ficando em sua frente apenas Estados Unidos, Japão, Alemanha, Inglaterra e França. Isso é um feito incrível, se considerarmos que 10 anos antes menos de 1% de sua população possuía computador.

2.7. Composição dos REEE e seu impacto nos recursos minerais

Os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) são compostos por todo tipo de equipamentos residenciais, industriais ou comerciais que utilizem eletricidade para executar suas funções. Podem ser motores elétricos, geladeiras, máquinas de lavar, centrais telefônicas, balcões refrigerados, computadores, celulares entre outros.

No processo de produção desses equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE), é utilizada uma diversidade de materiais incrivelmente alta. Ao todo aproximadamente 60 componentes químicos da tabela periódica são encontrados nos EEE. Esses elementos podem ser valiosos e/ou perigosos e são utilizados em diversas partes dos equipamentos. No entanto, é na placa de circuito impresso, considerada uma das partes mais importantes e complexas de um EEE, que encontramos a maior quantidade de substâncias diferentes (SCHLUEP et al, 2009).

Em 2006, T. McMANUS (McMANUS, 2006 apud JEREMIAH et al, 2007) fez uma interessante comparação quanto à evolução ao longo dos anos dos elementos químicos empregados na fabricação das placas de circuito impresso e idealizou a Figura 9, que segue abaixo. Nos anos 80 eram 12 elementos aplicados nas PCI, na década seguinte foram incluídos mais quatro, e na primeira década desse novo século seriam potencialmente mais 45.

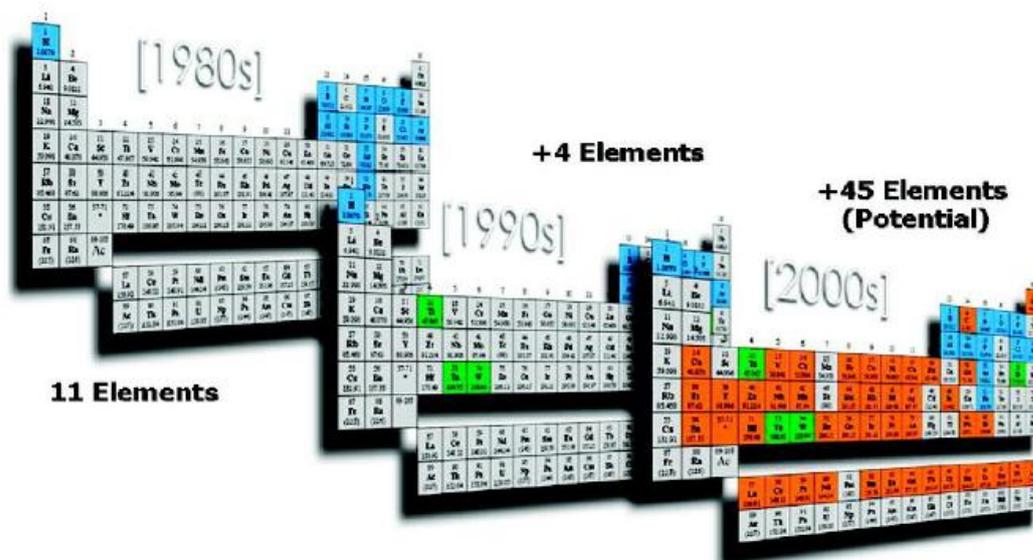


Figura 9 - Elementos de uma PCI ao longo do tempo
Fonte: McMANUS, 2006 apud JEREMIAH et al, 2007

A placa de circuito impresso (PCI) é um dos itens chave de um equipamento eletroeletrônico. Ela é indispensável para prover, com organização e baixo custo, interconexões eficientes entre as diversas partes que formam o EEE, como por exemplo, telas, teclado, painéis de comando, periféricos etc. Por serem muito complexas, geralmente possuem mais do que uma camada de circuitos. Contudo, devem prover absoluta confiança nos mais diversos ambientes em que podem ser empregadas.

As PCI são as maiores responsáveis pelo consumo de diversos tipos de metais preciosos e metais especiais. Dessa forma, constituem um importante agente na demanda mundial de metais, mesmo com o desenvolvimento de novas técnicas e materiais para baratear a produção, melhorar a eficiência, aumentar a quantidade de funcionalidades e reduzir os tamanhos (HESTER & HARRISON, 2009).

Os equipamentos eletroeletrônicos, principalmente aqueles utilizados em casa e os de TIC's, têm um peso relativamente baixo, conforme a Tabela 5, e não dão a ideia da quantidade de materiais ali empregados para sua fabricação. De modo geral, para esses equipamentos, o EMPA publica, em seu site¹⁴ na internet, uma média das substâncias encontradas nos eletroeletrônicos domiciliares e de TIC. Nela é interessante observar e comparar alguns dados como:

- Os metais ferrosos, alumínio e cobre são mais presentes nos equipamentos de maior porte. Isso se justifica pelo fato de que muitos desses equipamentos suportam seu próprio peso ou executam algum trabalho de força (com motores elétricos), o que exige uma estrutura metálica e muito cobre para as bobinas.
- Os metais preciosos como o ouro, a prata e o paládio têm um percentual maior nos TIC's e eletrônicos de consumo, assim como o índio e o cádmio, que são metais especiais muito empregados em equipamentos com tecnologia mais apurada.

Em 1996, a Microelectronics and Computer Technology Corporation (MCC) fez um estudo para estimar a quantidade de diferentes substâncias encontradas num microcomputador com peso aproximado de 27 kg, e chegou aos resultados demonstrados na Tabela 6 (SECO, 2012). Das 36 substâncias encontradas, pode-se perceber a existência: de elementos valiosos como o ouro, a platina e o

¹⁴ Fonte: http://www.ewasteguide.info/material_composition

paládio; de alguns metais especiais (para definição de grupos de metais, como os valiosos e os especiais, vide APÊNDICE I - PRINCIPAIS GRUPOS DE METAIS) como o índio e o gálio (GRAEDEL et al, 2011); e de outros perigosos como o mercúrio e o arsênio (conforme descritos no APÊNDICE II - SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS DOS EEE).

Tabela 5 – Materiais que compõem algumas categorias de lixo eletrônico

Material	Grandes eletrodomésticos (%)	Pequenos eletrodoméstico (%)	TIC's e eletrônicos de consumo (%)	Lâmpadas (%)
Metais ferrosos	43	29	36	-
Alumínio	14	9.3	5	14
Cobre	12	17	4	0.22
Chumbo	1.6	0.57	0.29	-
Cádmio	0.0014	0.0068	0.018	-
Mercúrio	0.000038	0.000018	0.00007	0.02
Ouro	0.00000067	0.00000061	0.00024	-
Prata	0.0000077	0.000007	0.0012	-
Paládio	0.0000003	0.00000024	0.00006	-
Índio	0	0	0.0005	0.0005
Plásticos Bromurados	0.29	0.75	18	3.7
Plásticos gerais	19	37	12	0
Vidro de Chumbo	0	0	19	0
Vidro	0.017	0.16	0.3	77
Outros	10	6.9	5.7	5

Fonte: Adaptado de EMPA (2012)

Os metais especiais, citados anteriormente, por menores que sejam as proporções empregadas, começam a desempenhar papel importante devido às suas aplicações em novas tecnologias, como por exemplo, telas planas, telas sensíveis ao toque e para fabricação de células fotovoltaicas.

Já os metais preciosos também representam apenas uma pequena percentagem do peso total. No entanto, a concentração de tais metais, como o ouro, é mais elevada em um computador pessoal, ou num eletrônico de maneira geral, do que a que ocorre naturalmente no minério de ouro. Conforme o Serviço Geológico dos EUA publicou em 2001 (USGS, 2001), uma tonelada de lixo eletrônico produz mais ouro do que é possível extrair de 17 toneladas de minério de ouro.

Tabela 6 – Composição de um computador pessoal com aproximadamente 27 Kg

Material	Conteúdo (% peso total)	Peso (kg)	Função	Localização
Plástico	22,9907%	6,207489	Isolamento	Cabos, gabinete
Chumbo	6,2988%	1,700676	Unões metálicas	PCI e vidro dos CRT's,
Alumínio	14,1723%	3,826521	Estruturas e condução	Gabinete, CRT, PCI, conectores
Germânio	0,0016%	0,000432	Semicondutor	PCIs
Gálio	0,0013%	0,000351	Semicondutor	PCIs
Ferro	20,4712%	5,527224	Estruturas e magnetismo	Gabinete, CRTs e PCIs
Estanho	1,0078%	0,272106	Unões metálicas	PCIs, CRTs
Cobre	6,9287%	1,870749	Condução	CRTs, PCIs, conectores
Bário	0,0315%	0,008505	Proteção contra radiação	Painel de vidro dos CRTs
Níquel	0,8503%	0,229581	Estruturas e magnetismo	Gabinete, CRT, PCI
Zinco	2,2046%	0,595242	Bateria e emissão de fósforo	PCI, CRT
Tântalo	0,0157%	0,004239	Capacitores	Capacitores, PCI, fontes
Índio	0,0016%	0,000432	Transistor, retificador	PCI
Vanádio	0,0002%	0,000054	Emissão de fósforo vermelho	CRT
Térbio*	0,00004%*	0,0000108*	Ativador do fósforo verde, dopagem	CRT, PCI
Berílio	0,0157%	0,004239	Condução térmica	PCI, conectores
Ouro	0,0016%	0,000432	Conectividade e condução	PCI, conectores e CI's
Európio	0,0002%	0,000054	Ativador do fósforo	PCI, CRT
Titânio	0,0157%	0,004239	Pigmento, conexões	Gabinete
Rutênio	0,0016%	0,000432	Circuitos resistivos	PCI
Cobalto	0,0157%	0,004239	Estruturas e magnetismo	Gabinete, CRT, PCI
Paládio	0,0003%	0,000081	Conectividade e condução	PCI, conectores
Manganês	0,0315%	0,008505	Estruturas e magnetismo	Gabinete, CRT, PCI
Prata	0,0189%	0,005103	Condução	PCI, conectores
Antimônio	0,0094%	0,002538	Diodos	Gabinete, PCI, CRT
Bismuto	0,0063%	0,001701	Soldas	PCI
Cromo	0,0063%	0,001701	Decoração	Gabinete
Cádmio	0,0094%	0,002538	Emissão de fósforo azul e verde	Baterias, gabinete, PCI, CRT
Selênio	0,0016%	0,000432	Retificadores, semicondutores	PCI
Nióbio	0,0002%	0,000054	Soldas	Gabinete
Ítrio	0,0002%	0,000054	Emissão de fósforo vermelho	CRT
Ródio*	0,00004%*	0,0000108*	Condutor em filme fino	PCI
Platina*	0,00004%*	0,0000108*	Condutor em filme fino	PCI
Mercúrio	0,0022%	0,000594	Baterias e interruptores	Gabinete, PCI, baterias e interruptores
Arsênio	0,0013%	0,000351	Dopagem em transistores	PCI
Silica	24,8803%	6,717681	Vidros e dispositivos de estado sólido	CRT, PCI

Fonte: MCC, 1996

* estimativas do autor

Um metal não ferroso de grande utilidade nos EEE é o cobre. Segundo estimativa da Agência de Proteção Ambiental dos EUA, em uma tonelada de placas de circuito impresso é possível obter de 30 a 40 vezes mais cobre do que em uma tonelada de minério de cobre (GROSSMAN, 2010).

Ainda que sejam utilizados muitos tipos diferentes de materiais, os EEE impactam pouco na produção mundial de ferro, alumínio, sílica, apesar de haver um percentual relativamente alto desses materiais em sua composição. De outro lado, há uma série de metais que apresentam baixo percentual de utilização na composição do EEE, mas que acabam tendo grande parte da produção mineral mundial voltada para atender às necessidades da indústria elétrica e eletrônica.

Conforme comenta SCHLUEP et al (2009), eletrônicos consomem aproximadamente 80% da produção de índio para fabricação das telas transparentes de LCD, mais de 80% de rutênio para possibilitar a gravação magnética nos discos rígidos de computadores, e 50% do da produção mundial de antimônio para retardantes de chamas. No caso particular do índio, subproduto dependente da já limitada mineração do zinco e utilizado na fabricação de telas touchscreen, houve multiplicação de seu preço por mais de seis vezes nos últimos cinco anos, tornando-o mais caro que a prata (LEITE et al, 2011).

Na Tabela 7 é possível verificar a pressão dos metais utilizados nos EEE sobre a produção primária (mineração) mundial, o percentual que representa essa utilização, os valores médios em dólar para cada quilo do material no ano de 2007 e as principais aplicações.

Apesar de ser possível dimensionar aproximadamente a quantidade de materiais encontrados dentro de um EEE depois de pronto, ainda existe todo um processo por trás dessa manufatura que também requereu sua parcela de recursos naturais. Tomando como exemplo um computador de mesa com monitor de 17 polegadas, FERREIRA & FERREIRA (2008) faz alusão a um estudo realizado pela Universidade das Nações Unidas, onde foi divulgado que para a fabricação do referido equipamento são gastos 1.800 quilos de componentes, assim divididos:

- 240 quilos de combustíveis fósseis (petróleo, gás etc.);
- 22 quilos de produtos químicos;
- 1.500 litros de água potável (cada circuito integrado consome muitos litros de água extremamente pura no processo de lavagem durante a sua fabricação).

Tabela 7 - Metais utilizados em EEE com maior demanda sobre a produção mundial

Metal	Produção Primária tons/ano	Demanda dos EEE tons/ano	Demanda dos EEE %	Preço médio USD/kg (2007)	Principais aplicações
Ag Prata	20000	6000	30%	430,00	Contatos, switches, soldas...
Au Ouro	2500	300	12%	22280,00	Fios capilares de ligação, contatos, circuitos integrados.
Pd Paládio	230	33	14%	11413,00	Capacitores de múltiplas camadas e conectores
Pt Platina	210	13	6%	41957,00	Discos rígidos, acoplamento térmico e células combustíveis.
Ru Rutênio	32	27	84%	18647,00	Discos rígidos, telas de plasma.
Cu Cobre	15000000	4500000	30%	7,00	Cabos, fios e conectores.
Sn Estanho	275000	90000	33%	15,00	Solda
Sb Antimônio	130000	65000	50%	6,00	Retardante de chama, vidro para CRT.
Co Cobalto	58000	11000	19%	62,00	Baterias recarregáveis
Bi Bismuto	5600	900	16%	31,00	Soldas, Capacitores e dissipadores de calor
Se Selênio	1400	240	17%	72,00	Eletrônica ótica, células solares e copiadoras.
In Índio	480	380	79%	682,00	Vidros para LCD, soldas e semicondutores.

Fonte: Adaptado de SCHLUEP et al (2009)

2.8. Composição do REEE e seus impactos ambientais e sociais

Em contraste com outros fluxos de rejeitos, como os efluentes não tratados de uma indústria de curtume ou a emissão de gases de uma queimada, os equipamentos eletroeletrônicos à primeira vista parecem inertes. Por esse motivo, é difícil para o leigo compreender que, se aquele computador, rádio relógio ou celular for descartado de forma inadequada, poderá causar dano ao meio ambiente e à saúde humana.

Conforme foi apontado pela FEAM (2009), o manuseio incorreto ou o descarte incorreto dos REEE tem potencial para causar problemas ao meio ambiente e à saúde dos seres humanos através da poluição do solo, das águas e, se queimados, do ar através da emissão de gases tóxicos. São classificados como perigosos, porque possuem metais pesados como chumbo, cromo cádmio, berílio e substâncias tóxicas como os retardantes de chamas brominados, que podem estar presentes nas placas de circuito impresso, coberturas plásticas e cabos (JUN-HUIA & HANGA, 2008). Por isso a reciclagem, utilizando técnicas

corretas, de telefones celulares, televisores, geladeiras, câmeras digitais e todos os outros EEE, é tão necessária para ajudar a minimizar os impactos que esse tipo de resíduo pode causar.

Diversos estudos publicados têm elencado as substâncias tóxicas contidas nos REEE, sua utilização e seus malefícios. Algumas delas podem ser encontradas na tabela que consta do APÊNDICE II - SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS DOS EEE, onde ficam evidentes o enorme potencial de contaminação do meio ambiente e os malefícios à saúde provocados por esses elementos.

Ainda que representem uma fonte de matéria prima, os REEE's são mais conhecidos pelas mazelas que causam em alguns países e regiões em desenvolvimento, onde são frequentemente depositados depois de uma longa viagem de navio originada em países ricos como Estados Unidos, Japão, Austrália, Inglaterra, Singapura e Emirados Árabes.

É fato que a Convenção de Basiléia de 1989 proibiu o transporte entre fronteiras de produtos perigosos. Contudo, os REEE's são enviados aos países pobres camuflados como equipamentos em bom estado para doação. O que se descobre são montanhas de sucata eletrônica, sem serventia, sendo levadas para a sua verdadeira função: o desmanche manual por trabalhadores que não possuem a mínima proteção individual necessária. O destino final desse lixo eletrônico são países como Paquistão, China, Índia e Gana, segundo a revista VEJA publicou em sua edição especial sobre Sustentabilidade, datada de dezembro de 2011 (VEJA, 2011). Ainda segundo ela, na cidade de Karashi, no Paquistão, cerca de 20.000 pessoas (homens, mulheres e crianças) trabalham com a reciclagem dos equipamentos eletrônicos, sem qualquer cuidado com a saúde ou o meio ambiente. Suspeita-se que essa seja a explicação para o fato de lá se concentrar o maior índice de casos de câncer de pulmão do Paquistão, muito provavelmente devido à inalação de gases tóxicos emitidos durante a queima utilizada no processo de separação dos metais

Além disso, os materiais dos EEE são citados como prováveis fontes de guerra, escravidão e trabalho infantil na África, como retratado no documentário "Blood in the mobile", do diretor FRANK P. POULSEN (2010). O filme mostra o lado obscuro da extração mineral do Coltan, motivo de invasões armadas da República Popular do Congo por seus países vizinhos, Ruanda e Uganda (DNPM, 2011), e que gerou nos últimos 15 anos uma guerra civil no Congo, levando à morte cerca de cinco milhões de pessoas. O cineasta Frank Poulsen, além de presenciar essa guerra, procurou também o posicionamento dos

fabricantes de celulares, como a Nokia, questionando-os e criticando-os por sua omissão.

O coltan é uma abreviatura para a mistura dos dois minerais que o compõem: a columbita e a tantalita. Da columbita se extrai o nióbio e da tantalita, o tântalo. Este último é um metal de notável característica físico-química pelo elevado ponto de fusão (2996°C), e resistência a ataques químicos, sendo praticamente inerte a ataques de ácidos (DNPM, 2011). Atualmente, sobressaem-se como principais mercados demandantes de tântalo as indústrias: eletrônica, principalmente a de telefonia móvel celular (fabricação de capacitores eletrolíticos); aeroespacial (componentes de motor a jato: ligas especiais); de vidro, com índices de refração especiais (utilizados em câmeras fotográficas e filmadoras); e automobilística (RODRIGUES, 2011).

O Nióbio é semelhante ao tântalo e, na sua falta, pode vir a substituí-lo. Por isso, ambos os metais foram e continuam sendo fundamentais para o avanço tecnológico da comunicação portátil (RODRIGUES, 2011).

A Ásia é o maior mercado emergente do mundo, possui uma economia de crescimento muito rápido e, conseqüentemente conta com um consumo de EEE que aumenta proporcionalmente. Exemplo disso é o mercado consumidor chinês, onde mais do que 5,14 milhões de utensílios domésticos e 4,48 milhões de computadores pessoais se tornam obsoletos a cada ano, além disso, mais de um milhão de toneladas de lixo eletrônico são enviadas para a China pela Europa, Japão, Taiwan e EUA, aproveitando os baixos custos de mão de obra e das leis ambientais menos rigorosas. Depois de vários estudos foi detectado que esse fluxo de REEE para alguns locais da China, onde é feita a reciclagem de produtos eletroeletrônicos, causou poluição ambiental por acumulação de metais pesados e por PBDE (éter difenil polibromados) no solo, no lençol freático e no ar (JUN-HUIA & HANGA, 2008). Ainda segundo o estudo publicado em 2008, os municípios da província de Zhejiang geralmente se especializam em diferentes estágios de processamento de lixo eletrônico para separação dos materiais: desmanche manual, cozimento de placa de circuito impresso, banhos de ácido, queima etc. De acordo com informações do governo local da cidade de Taizhou, em janeiro de 2005, mais de 40.000 pessoas trabalhavam na indústria de reciclagem de eletrônicos e cerca de dois milhões de toneladas de lixo eletrônico eram processados por ano.

Mas os problemas na China não estão localizados apenas em Taizhou, Dois estudos recentes mencionados no trabalho de LEUNG et al (2008) demonstraram as cargas corporais elevadas de metais pesados e substâncias

tóxicas persistentes em crianças e em adultos que trabalhavam com a reciclagem de lixo eletrônico na cidade de Guiyu.

Ainda na Ásia, há alguns poucos países em que a reciclagem de lixo eletrônico está bem organizada e estabelecida, apesar do destino pouco ortodoxo do REEE recolhido de alguns deles. São eles: Japão, Taiwan, Coréia do Sul e Cingapura (MURTHY, 2010).

Nos países subdesenvolvidos da Ásia e África, a maioria dos problemas com o lixo eletrônico é agravada pelo despejo ilegal dos países desenvolvidos. As importações ilegais de REEE ajudam a criar novas oportunidades de negócios nos países de destino, incentivando o mercado de EEE de segunda-mão e incentivando a reutilização. No entanto, a maioria dos participantes neste setor:

- Não tem consciência do risco associado à lida com esse tipo de resíduo;
- Não conhece as melhores práticas para reutilização/reciclagem;
- Não possui a melhor tecnologia/informação para reciclar;
- Não possui investimentos financeiros.

2.9. A Mineração Urbana

Sabemos que os dispositivos eletrônicos são parte das necessidades da vida diária. São adquiridos, utilizados e descartados para darem lugar a outros recém-lançados no mercado com melhorias tecnológicas e aparência mais moderna, levando os bens anteriores a se tornarem obsoletos e predestinados a fazer parte do lixo eletrônico.

No entanto, também se sabe que nesse lixo eletrônico é possível encontrar, em uma concentração muito maior do que na natureza, metais preciosos como ouro, prata e platina, além de outros como o índio. A Mineração Urbana é o processo de reciclagem desses metais a partir do lixo eletrônico, ou seja, a partir do material que a sociedade usou e descartou, e nesse aspecto, ela torna possível reduzir a pressão sobre os recursos naturais ainda não explorados; minimiza os riscos ao meio ambiente e à saúde da população, que poderiam ser causados pela deposição errônea de REEE; e proporciona uma forma de renda aos que trabalham na recuperação do material empregado nos EEE.

A intenção aqui não é explorar a fundo o assunto da mineração urbana, um termo novo e pouco difundido. O objetivo é dar uma visão ampla sobre ela e

relatar brevemente sobre as diversas etapas envolvidas no processo que é capaz de transformar equipamentos eletroeletrônicos, no final de suas vidas úteis, em matéria-prima para reintrodução na cadeia de produção.

Como já comentado, a concentração e a diversidade de materiais, incluindo metais preciosos, nos equipamentos eletroeletrônicos, é muito grande. Associado a isso, o processo de fabricação desses equipamentos agrega os materiais de forma muito homogênea em cada uma de suas partes como gabinetes, motores e compressores, tubos de raios catódicos e placas de circuito impresso (PCI). Fato esse que dificulta a desagregação dos materiais, no fim da vida útil do EEE, se não for realizada uma triagem das partes desses equipamentos.

Apesar de possuírem diversas partes recicláveis, as que ensejam técnicas mais avançadas para reaproveitamento da matéria-prima são as placas de circuito impresso. Além disso, a reciclagem das mesmas gera maior retorno financeiro dentre todas as partes do EEE. Dentro do ciclo de vida do equipamento, aqueles atores, que separam as placas das outras partes dos EEE e as acondicionam para transporte, obtêm entre R\$8,00 e R\$12,00 por quilo, conforme publicado pelo jornal O GLOBO, de 23 de maio de 2012 (LIMA, 2012).

Após a separação, o material das placas de circuito impresso é levado para recuperação da matéria-prima. Uma das usinas com essa capacidade encontra-se no Japão. A Eco-System.Co produz de 200 a 300 kg de ouro em barras por mês. Considerando o preço médio do quilo de ouro em 2010 a \$44.288,26 (DNPM, 2011), a quantidade referida geraria entre 9 e 13 milhões de dólares por mês somente com o ouro, sem contar os outros metais reciclados que certamente são capazes de produzir, como já é feito em uma outra usina na Bélgica, a UMICORE, de onde são capazes de retirar 17 tipos diferentes de metais do lixo eletrônico, são eles: ouro, prata, paládio, platina, ródio, irídio, rutênio, cobre, chumbo, níquel, antimônio, bismuto, selênio, telúrio, antimônio, arsênio e índio (HAGELÜKEN C., 2008).

O maior problema é a reciclagem das placas de circuito impresso que estão presentes em todos os equipamentos eletroeletrônicos. No Brasil não há tecnologia em escala de produção para a reciclagem desses equipamentos¹⁵ e, por isso, todo o material separado é enviado para o exterior, uma grande perda de divisas e material, uma vez que essa sucata possui um índice de reciclagem na ordem de 95% de reaproveitamento, e de onde se extraem, como já

¹⁵ Fonte: <http://www.itautech.com.br/pt-br/sustentabilidade/ti-verde/centro-de-reciclagem>. Acesso em 24/06/2012

mencionado, diversos tipos de metais, inclusive os preciosos como ouro, platina, paládio, prata e cobre. Devido à necessidade de empregar técnicas refinadas, poucas empresas no mundo têm capacidade para reciclagem desse material, sendo que a maioria delas está em países como Estados Unidos (SIPI Metals Corp.), Bélgica (UMICORE), Cingapura (Cimelia) e Japão (Dowa Eco-System Co. Ltd.). Sendo assim, a saída para o Brasil e para muitos outros países é a exportação das placas inteiras ou, às vezes moídas, quando a recicladora está apta para executar esse processo.

Mas nem sempre o destino dessas placas são as empresas de reciclagem. Para muitos países industrializados, o custo da reciclagem desses materiais é muito caro, e estudos já publicados pelo Greenpeace¹⁶ mostram que os principais destinos do lixo eletrônico são países e regiões subdesenvolvidas da África e Ásia.

Nos países industrializados, a reciclagem de sucata eletrônica é um problema de custo. Os países até podem recuperar matérias-primas valiosas como coltan ou cobre, mas a chamada mineração urbana não compensa aos olhos de muitos países industrializados, pois a quantidade reciclada é pequena, se comparada com a extraída da natureza. A solução mais barata é despachar a sucata ilegalmente para países subdesenvolvidos, onde pode ser vendida por comerciantes criminosos¹⁷.

O grande problema é que muitos países driblam as convenções internacionais, que proíbem a exportação de equipamentos tóxicos, para enviar REEE principalmente para a África, com a justificativa de reuso ou redução da exclusão digital. Estudos indicam que muitas comunidades pobres fazem a reciclagem manual das placas de circuito, liberando resíduos tóxicos no solo e nos rios. Em Gana¹⁸, um dos principais receptores de eletrônicos europeus de segunda mão, testes feitos em uma escola próxima a um centro de reciclagem informal mostraram níveis de chumbo, cádmio e outros poluentes cerca de 50 vezes acima dos níveis considerados seguros.

Diante desse cenário, fica constatada a repercussão dos problemas relacionados aos altos custos de processamento tecnológico para retirada de matéria-prima das placas de circuito impresso.

¹⁶ Fonte: <http://idgnow.uol.com.br/ti-pessoal/2009/06/04/entrevista-greenpeace-traca-caminho-do-lixo-eletronico-para-africa-e-asia/>. Acesso em 25/06/2012.

¹⁷ Fonte: <http://www.dw.de/dw/article/0,,15744559,00.html>

¹⁸ Fonte: http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2011/11/111107_galeria_lixo_eletronico_cc.shtml. Acesso em 25/06/2012

Mesmo os países desenvolvidos, onde há gestão eficiente dos resíduos e implantação da logística reversa, não possuem ainda capacidade suficiente de reciclagem e enviam resíduos tóxicos para o exterior¹⁹.

Assim, torna-se imprescindível investir na tecnologia de tratamento desses resíduos e exigir a fabricação deles, sem a presença de elementos tóxicos na sua composição para facilitar o processo de reciclagem e reduzir os riscos à saúde durante sua execução.

2.10. Tratados e Legislação Internacional

2.10.1. Convenção de Basiléia – A Convenção sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito

Conforme explicado por ZIGLIO (2005), a década de 80 foi marcada por uma crescente preocupação das empresas com os custos para a disposição final de seus resíduos perigosos, principalmente daquelas localizadas em países desenvolvidos, cujas leis ambientais eram mais rigorosas. A alternativa utilizada então era a exportação desses resíduos para países subdesenvolvidos.

O meio para combater esse tipo de prática veio com a Convenção de Basiléia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito. Esta foi concluída pela Organização das Nações Unidas, na cidade Suíça de Basiléia, em 22 de março de 1989, e entrou em vigor em 5 de maio de 1992. Atualmente são 176 os países signatários, sendo exceções: Afeganistão, Haiti e Estados Unidos da América.

Por se tratar de um importantíssimo acordo internacional, a Convenção de Basiléia foi incorporada ao Direito Brasileiro através da aprovação do seu texto no Decreto Legislativo nº 34, de 1992, já comprovando, à época, o interesse do Brasil em ações ecologicamente corretas (ZIGLIO, 2005).

A Convenção tem por objetivo regulamentar e reduzir a circulação internacional de resíduos perigosos, tendo em vista que os países signatários consideram que é uma maneira eficaz de proteger a saúde humana e o meio ambiente dos efeitos adversos que os resíduos perigosos representam, assim como de reduzir a incidência de exportação de resíduo contendo substâncias tóxicas para países em desenvolvimento que possuem pouco ou nenhum conhecimento sobre o correto tratamento desse tipo de resíduo. Os signatários,

¹⁹ Fonte: <http://idgnow.uol.com.br/ti-pessoal/2009/06/04/entrevista-greenpeace-traca-caminho-do-lixo-eletronico-para-africa-e-asia/>

além de serem obrigados a minimizar as quantidades que resíduos perigosos transportados, devem se comprometer a dar tratamento adequado ao local mais próximo possível de onde esse resíduo foi gerado. Ela não impede as transferências dos resíduos perigosos, mas seus signatários ficavam sujeitos a um consentimento prévio do país receptor, antes de exportarem qualquer tipo de resíduo perigoso (UNEP/BASEL, julho de 2011).

Visando aumentar a restrição do envio de resíduos perigosos para países subdesenvolvidos, foi aprovada, na terceira reunião de Conferência das Partes (COP), em 1995, uma emenda prevendo a proibição das exportações pelos Estados membros da OECD (The Organisation for Economic Co-operation and Development), de todos os resíduos perigosos abrangidos pela Convenção, para disposição final, reutilização, reciclagem ou recuperação em todos os outros países. No entanto, em janeiro de 2011, a emenda ainda não havia entrado em vigor.

No entanto, RODRIGUES (2007) comenta que vários autores concordam em dizer que a Convenção é falha e que não é eficaz em coibir transporte internacional de resíduos perigosos para disposição em países subdesenvolvidos. Mesmo depois da Convenção, a exportação de resíduos perigosos e principalmente REEE continuou ocorrendo livremente. Uma das razões foi apontada no relatório publicado por PUCKETT et al (2002), que exemplifica um programa piloto realizado pela EPA dos EUA, em 2002, que recolheu sucata eletrônica em São José, Califórnia, e estimou que ainda era 10 vezes mais barato enviar monitores CRT para a China do que reciclar nos Estados Unidos da América.

2.10.2. Diretivas Europeias

A conscientização sobre a necessidade de estruturar um sistema de controle de substâncias tóxicas capaz de diminuir o risco que representam para a vida humana está sendo ampliada, mas sua concretização não é simples nem rápida. A preocupação com os produtos tóxicos não é muito antiga, um dos primeiros registros que ganhou escala mundial na divulgação do problema foi a publicação do livro *Silente Spring*, da escritora Rachel Carson, em 1962, nos Estados Unidos da América.

É fato que os resíduos eletroeletrônicos na Europa crescem a cada ano e devido a isso a União Europeia introduziu uma variedade de legislações com o

objetivo de combater esse aumento. As duas principais e provavelmente mais conhecidas são as diretivas WEEE (Waste Electric and Electronic Equipment) e RoHS (Restriction of the use of certain Hazardous Substances). Após 10 anos de debates, elas se tornaram realidade na Europa e têm tido um impacto significativo na concepção dos produtos, sua produção e disposição final (HESTER & HARRISON, 2009).

Desde 1994 alguns países da União Europeia vinham produzindo legislações internas com o objetivo de gerenciar o problema referente ao crescimento exponencial dos REEE's. Já a partir de 1996, ações voltadas à elaboração de uma política mais abrangente para o enfrentamento do problema levaram a Europa para a vanguarda do tratamento desse tipo de resíduo (RODRIGUES, 2007).

2.10.2.1. Diretiva WEEE (2002/96/EC)

A Diretiva WEEE entrou em vigor a partir de janeiro de 2003 e é uma das primeiras normas especiais acerca do tratamento dos resíduos elétrico e eletrônicos. Está baseada essencialmente em determinar regras gerais, especificar metas e responsabilidades para todos os países da União Europeia em matéria de gestão de REEE (GARCÉS & SILVA, 2010). É diretamente relacionada ao controle da disposição final do resíduo eletroeletrônico, no final do ciclo de vida, determinando o percentual de seu peso que pode ser enviado para um aterro sanitário e aquele que deve ser reutilizado, recuperado e reciclado, por exemplo, 85% de resíduos de um aparelho celular produzido e/ou comercializado na União Europeia devem ser recicláveis.

O texto da própria Diretiva (presente no ANEXO I - CLASSIFICAÇÃO DOS EEE PELA WEEE-ROHS), especifica dez tipos de categorias de aparelhos eletroeletrônicos com diferentes objetivos de percentuais de recuperação e reciclagem. No entanto, a Diretiva é parte integrante de um conjunto muito maior de mecanismos de policiamento dentro da União Europeia, destinados a introduzir a responsabilidade do produtor. Ela torna os produtores de equipamentos eletroeletrônicos legalmente responsáveis pela recuperação e reciclagem dos seus produtos, ao final de sua vida útil.

2.10.2.2. Diretiva RoHS (2002/95/EC)

A Diretiva RoHS (Restriction of the use of certain Hazardous Substances) passou a vigorar para os Estados Membros da Comunidade Europeia, assim que foi publicada, em 27 de janeiro de 2003. Esta Diretiva estava originalmente contida dentro do texto da Diretiva WEEE (HESTER & HARRISON, 2009), e seu objetivo principal é a proteção da saúde humana e do meio ambiente através das restrições de uso das seguintes substâncias perigosas: chumbo, mercúrio, cádmio, cromo hexavalente, polibromato bifenil (PBB)²⁰ e éter de difenil polibromado (PBDE), esses dois últimos utilizados como retardantes de chama em plásticos.

Em agosto de 2005 a Diretiva RoHS ganhou força de lei no Reino Unido e, com isso, a proibição dos materiais perigosos identificados foi aplicada a partir de julho de 2006 (HESTER & HARRISON, 2009).

A Diretiva RoHS tem grande impacto sobre a manufatura, venda, distribuição e reciclagem dos equipamentos eletroeletrônicos. Graças a ela, fabricantes de EEE devem garantir que os produtos por eles colocados no mercado europeu estejam livres dos produtos restritos. Ela cobre todas as categorias de produtos, indicadas nos anexos da Diretiva WEEE, com exceção das categorias de produtos médicos, de monitoração e controle.

Como é impossível eliminar toda e qualquer partícula de substâncias proibidas dos EEE, a Diretiva RoHS prevê uma porcentagem mínima admissível dessas substâncias de até 0,1% de seu peso, exceto para o cádmio que é de no máximo 0,01% (HESTER & HARRISON, 2009).

Em entrevista²¹ a Guilherme Felitti, publicada em 5 de junho de 2012, no site “www.idgnow.com.br”, a líder para lixo eletrônico do Greenpeace, Zeina Al Hajj, comentou que o material eletrônico enviado ilegalmente em contêineres, para países subdesenvolvidos, como China, Índia e nações na África, é desmontado e queimado sem utilização de qualquer proteção pessoal por parte

²⁰ Os PBBs e PBDEs – do inglês: Polybrominated Biphenyls and Polybrominated Diphenyl – polibromato bifenil e o éter de difenil são substâncias químicas manufaturadas que se encontram numa grande variedade de bens de consumo (monitores, computadores, televisores, tecidos, espumas plásticas, etc.) para fornecer resistência contra o fogo. Por estarem misturados com o plástico, ao invés de unidos a ele, podem escapar e serem liberados para o meio ambiente. Os PBB's são semelhantes, mas não idênticos aos PBDE's, ambos são incolores, sólidos e esbranquiçados e são misturados com até 209 produtos químicos individuais. A fabricação do PBBs foi encerrada nos Estados Unidos em 1976, enquanto que a produção de PBDEs continua até o presente (ATSDR, 2002). Conforme definição de ALMEIDA (2008), PBDE's e PBB's são compostos orgânicos sintéticos, resistentes aos ácidos, às bases, ao calor, à luz e a substâncias redutoras e oxidantes, por isso são muito persistentes quando lançados ao ambiente.

²¹ Fonte: <http://idgnow.uol.com.br/ti-pessoal/2009/06/04/entrevista-greenpeace-traca-caminho-do-lixo-eletronico-para-africa-e-asia/>

dos habitantes desses países. Explicou também que a complexa estrutura de descarte internacional, classificada como “máfia” por Zeina, justifica um cuidado maior por parte de fabricantes para a retirada completa de compostos como chumbo, cádmio, mercúrio, polivinil (PVC) e retardantes de chama bromado (BFR), previsto na diretiva ROHS, com características cancerígenas, do processo de fabricação.

2.10.2.3. A nova diretiva europeia relativa aos REEE (2012/19/UE)

O Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia consideravam que a Diretiva 2002/96/EC, relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE), por motivos de clareza, devia ser reformulada. Para tanto definiram e aprovaram um texto²² com novas normas, em 19 de janeiro de 2012, que atualiza a Diretiva de 2003 com melhorias quanto ao recolhimento e à reciclagem de REEE, pois esses são os resíduos que registram o crescimento mais rápido dentro da UE²³. A nova diretiva objetiva também evitar a transferência ilegal de REEE’s para outros países e cumprir a Convenção de Basileia. O texto com as modificações foi publicado pelo Jornal Oficial da União Europeia, em 24 de julho 2012, como Diretiva 2012/19/UE, relativa aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE).

Foram elaboradas alterações no sentido de aumentar a quantidade mínima de resíduos que os Estados Membros estão obrigados a recolher e reciclar. Além disso, o modo como é feita a medição das quantidades passou a ser feito em função do número de equipamentos que o país coloca em seu mercado, e não mais do seu número de habitantes, como acontece atualmente.

A quantidade mínima de REEEs recolhidos anualmente, estabelecida pela Diretiva de 2003, é de 4 kg por habitante e pelas novas regras é estipulado que a partir de 2016 a maioria dos Estados Membros terá de recolher 45 toneladas de resíduos EEE por cada 100 toneladas colocadas no mercado nos três anos anteriores. A partir de 2019, a taxa de recolhimento mínima aumentará para 65%. A reciclagem dos resíduos EEE terá também de aumentar para 80% em certas categorias de produtos.

Considerando que o recolhimento é uma condição prévia para melhorar os índices de reciclagem, a UE se preocupou em amarrar no novo texto a obrigação

²² Fonte: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getdoc.do?pubref=-//ep//text+ta+p7-ta-2012-0009+0+doc+xml+v0//pt>

²³ Fonte: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getdoc.do?pubref=-//ep//text+im-press+20120119ipr35666+0+doc+xml+v0//pt&language=pt>

do consumidor em contribuir ativamente com essa importante ação. Para melhorar a participação deles, serão disponibilizados em lojas varejistas pontos de coleta para resíduos EEE muito pequenos (como celulares), no entanto, sem a obrigação de comprar outro produto. Além disso, deverão ser criadas instalações adequadas para a entrega de REEE, incluindo centros de recolhimento públicos, onde os particulares possam entregar esses resíduos sem encargos.

Muito interessante é o texto abaixo, retirado das considerações contidas na revisão da Diretiva 2002/96/EC:

Ao prever a responsabilidade do produtor, a presente diretiva incentiva uma concepção e fabricação dos EEE, que contemplem plenamente e facilitem a reparação, a eventual atualização, reutilização, desmontagem e reciclagem dos EEE.

Nele fica clara a preocupação da comunidade europeia quanto à obsolescência programada e à responsabilidade do produtor em fornecer produtos que tenham um ciclo de vida mais longo e que sejam fabricados com materiais recicláveis.

Entretanto, não é apenas a responsabilidade do produtor pela recuperação e reciclagem dos equipamentos eletroeletrônicos, ao final de suas vidas úteis, que é enfatizada. O texto aprovado estende essa responsabilidade para os outros atores dessa cadeia, garantindo que todos são responsáveis, como deixa claro o texto abaixo, retirado da Diretiva 2012/19/UE:

A presente diretiva tem por objetivo contribuir para uma produção e um consumo sustentáveis mediante, prioritariamente, a prevenção de REEE e, adicionalmente, através da reutilização, reciclagem e outras formas de valorização desses resíduos, de modo a reduzir a quantidade de resíduos a eliminar, e a contribuir para a utilização eficiente dos recursos e a recuperação de matérias-primas secundárias valiosas. Procura igualmente melhorar o desempenho ambiental de todos os operadores envolvidos no ciclo de vida dos EEE, nomeadamente produtores, distribuidores e consumidores, e, em especial, os operadores diretamente envolvidos na recolha e tratamento de REEE. Em especial, a aplicação nacional divergente do princípio da responsabilidade do produtor pode levar a disparidades substanciais nos encargos financeiros que recaem sobre os operadores económicos. A existência de diferentes políticas nacionais em matéria de gestão dos REEE prejudica a eficácia das políticas de reciclagem. Por esse motivo, deverão ser estabelecidos os critérios essenciais ao nível da União e deverão ser desenvolvidas normas mínimas relativas ao tratamento de REEE

2.10.3. China ROHS

O escopo da ROHS da China está valendo para todos os produtos manufaturados naquele país a partir de 1º de março de 2007. Ela é muito mais ampla que a ROHS da União Europeia e inclui todas as informações relativas

aos EEE. Além disso, inclui diversos equipamentos de TI, de telecomunicações, de produção, de instrumentos de teste, médicos, certos tipos de aparelhos domésticos e componentes eletrônicos como resistores, circuitos integrados, baterias e placas de circuito impresso.

No momento não há qualquer substância proibida. No entanto, haverá restrições para determinados produtos especificados que serão listados em um catálogo. É provável que as seis substâncias proibidas pelo ROHS da Europa - chumbo, cádmio, mercúrio, cromo hexavalente, PBB e PBDE - sejam também restritas pela ROHS chinesa, embora a legislação afirme que outras substâncias podem ser incluídas pelo governo daquele país.

O catálogo de controle de poluição por produtos EEE consiste das categorias de produtos EEE, das categorias de substâncias tóxicas, perigosas ou com restrição de uso encontrada neles e do cronograma para a restrição. O catálogo é alterado anualmente pelo governo chinês, de acordo com as condições reais e as demandas por novos níveis de desenvolvimento tecnológico.

2.10.4. HARL – Home Appliances Recycling Law

Em decorrência da falta de capacidade dos aterros sanitários e de um ambiente urbano densamente povoado, o governo japonês foi levado a tomar medidas para promover a reciclagem e a conservação de recursos (INFORM, 2003). Com isso o Japão foi um dos primeiros países a ter uma legislação para reciclagem de lixos eletroeletrônicos, a chamada Lei para Reciclagem de Utensílios Domésticos (HARL – Home Appliances Recycling Law), que foi promulgada em junho 1998²⁴.

A HARL cobria apenas os quatro maiores grupos de utensílios (tvs/monitores, equipamentos de refrigeração; equipamentos de ar condicionado; máquinas de lavar) e graças a ela as taxas de reciclagem no Japão se encontram entre 64 e 84%, dependendo do tipo de utensílio (HESTER & HARRISON, 2009). A partir de 2 de dezembro de 2008²⁵, depois de uma revisão, a Lei incluiu as secadoras de roupa e os televisores de cristal líquido (LCD) e de plasma.

Seus princípios fundamentais são a substituição de substâncias tóxicas, o aumento do percentual de material reciclável nos EEE, o incentivo à reciclagem

²⁴ Fonte: <http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/english/law/home.html>

²⁵ Fonte: <http://www.japanfs.org/en/pages/029030.html>

e à proibição de depósitos inadequados. Efetivamente entrou em vigor a partir de abril de 2001 e através dela os atores passaram a ter as seguintes responsabilidades:

- Os fabricantes devem se esforçar para minimizar o volume de resíduos domésticos gerados por aparelho, através do aumento da durabilidade; da viabilização e facilitação do reparo; da escolha de materiais cuja fabricação minimize as despesas necessárias para reciclagem.
- Os varejistas devem prover informações suficientes sobre o produto para que o usuário estenda a utilização do mesmo pelo maior tempo possível
- Os consumidores devem estender o tempo de vida útil do utensílio pelo maior tempo possível. Quando acabar, devem entregar o resíduo para as pessoas preparadas para a coleta, transporte ou reciclagem, cooperando com elas no que diz respeito a taxas necessárias para manter o serviço em operação.
- O governo deve se esforçar para promover a cooperação por parte das empresas e consumidores quanto à coleta, o transporte e a reciclagem de resíduos de eletrodomésticos, assim como a difusão dos resultados. O governo deve se esforçar em promover a conscientização pública para coleta, transporte e reciclagem de eletrodomésticos e buscar a cooperação do público com relação a sua execução. Além disso, as autoridades locais devem tomar as medidas necessárias para promover o recolhimento, transporte e a reciclagem de resíduos de domicílios particulares.
- O consumidor passou a pagar uma taxa ao descartar um EEE e a assumir o dever de retornar o produto antigo similar, se for o caso; o Estado ficou responsável pela coleta e pela logística reversa; e o produtor ficou com a responsabilidade de reciclar o EEE recebido e dar o descarte correto para os rejeitos, inclusive neutralizando os elementos tóxicos remanescentes.

O Japão é campeão em produção per capita de lixo eletrônico²⁶ e elaborou uma lei que exige dos fabricantes e importadores a coleta e reciclagem de seus próprios aparelhos ou o financiamento do sistema juntamente com os consumidores. Já a Associação para Dispositivos Eletroeletrônicos Residenciais

²⁶ Fonte: <http://lixoeletronico.org/blog/manual-para-jogar-o-lixo-lico-es-do-japao>

(AEHA - Association for Electric Home Appliances), é um grupo comercial responsável pelos produtos "órfãos", como por exemplo, uma TV descartada 20 anos após a data de venda e cujo fabricante já não exista mais.

2.11. REEE no Brasil

De modo geral, os resíduos produzidos por grupos humanos são características de sua sociedade e através deles é possível identificar diversos de seus hábitos como estrutura social, gostos culturais, modo de vida, relações de comércio, perfil culinário, religiosidade, antagonismos sociais, entre outros. Percebe-se então que os rejeitos de um povo refletem um determinado contexto social e histórico (WALDMAN, 2007).

Em toda a história da humanidade nunca foi gerada tamanha quantidade de resíduos e tão heterogêneos, surgindo assim a necessidade da qualificação desse material para seu correto tratamento e destinação. No Brasil, de acordo com a norma técnica da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 10004/04 e a nova Lei 12.305 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, no seu art. 13, os resíduos sólidos foram classificados de acordo com a sua periculosidade.

Art. 13. Para os efeitos desta Lei, os resíduos sólidos têm a seguinte classificação:

(...)

II - quanto à periculosidade:

a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

De acordo com o texto da Lei, infere-se que os REEE se enquadrariam como resíduos perigosos, pois possuem diversas substâncias nocivas à saúde humana e ao meio ambiente, conforme exposto no APÊNDICE II - SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS DOS EEE. Já os resíduos não enquadrados nesse conceito são classificados como não perigosos.

2.11.1. Volumes gerados no Brasil e o comportamento do consumidor

Os equipamentos eletrônicos, enquanto estão sendo manuseados corretamente durante o seu tempo de vida útil, e conforme orientam os manuais

dos fabricantes, não apresentam riscos à saúde nem ao meio ambiente. O problema passa a acontecer depois que são depositados em lixões a céu aberto e começam a sofrer a ação do tempo, principalmente da chuva que carrega as partículas do material que está se decompondo, contaminando o solo, os lençóis freáticos e o meio ambiente de um modo geral.

No entanto, esse problema tende a se agravar com a melhoria da situação financeira da população e consequente aumento de consumo. Conforme dados publicados pelo IBGE, apesar da população brasileira ter crescido, o PIB per capita no Brasil pulou de R\$6.886,00 no ano 2000 para R\$ 19.509,00 no ano 2010²⁷, conforme pode ser acompanhado na Tabela 8.

Tabela 8 - PIB per capita e crescimento da população brasileira

Ano	1995	2000	2005	2010
PIB per Capita (R\$)	4.441	6.886	11.709	19.509
População	158.874.963	171.279.882	183.383.216	193.252.604

Fonte: IBGE, Séries Estatísticas

A partir do aumento da produção de riqueza, a renda média da população brasileira também aumentou, indicando uma melhoria nas condições de consumo das famílias, conforme a edição de “O Observador”, de 22 de março de 2012, uma publicação do grupo financeiro CETELEM BGN. Segundo a publicação, a classe C passou de 34% para 54% da população em sete anos e, só no ano passado, sua renda média familiar subiu 8%.

A melhoria das condições financeiras das famílias brasileiras fundamenta o crescimento do lixo eletroeletrônico no Brasil, mas ainda está bem distante daquelas apresentadas em países desenvolvidos como a França, Inglaterra e Alemanha, onde geram aproximadamente 13kg/hab/ano. Estimativas sugerem que sejam produzidos 2,6 Kg a cada ano por habitante (RODRIGUES, 2007). Isso não é muito, e para confirmar a baixa produção, há outro estudo que aponta 3,7Kg (FEAM, 2009) por habitante por ano no Brasil. Esses valores, apesar de discrepantes, 43% de diferença, podem ser resultado das considerações em algumas variáveis utilizadas para estimar o volume total de resíduos em cada estudo. As variáveis utilizadas são a quantidade de anos do período avaliado, o tempo de vida útil estimado para cada equipamento, os tipos de equipamentos analisados e os pesos médios estimados de cada um dos tipos.

²⁷ Fonte: <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br>

Tabela 9 - Classes sociais no Brasil e a distribuição de renda

Distribuição da população brasileira por classe de consumo							
Classe	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
AB	15%	18%	15%	15%	16%	21%	22%
C	34%	36%	46%	45%	49%	53%	54%
DE	51%	46%	39%	40%	35%	25%	24%
Renda familiar média por classe de consumo em R\$							
Classe	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
AB	2484,00	2325,00	2217,00	2586,00	2533,00	2983,00	2907,00
C	1107,00	1162,00	1062,00	1201,00	1276,00	1338,00	1450,00
DE	545,00	571,00	580,00	650,00	733,00	809,00	792,00
Média anual	1026,93	1099,48	1047,27	1188,35	1287,07	1537,82	1612,62

fonte: CETELEM BGN, 2012

Além das variáveis acima citadas, RODRIGUES (2007) utilizou outras condições de contorno para estimar a quantidade de REEE gerados no Brasil para o período de 2002 a 2016, demonstrados na Tabela 10. Para ter mais consistência considerou os EEE que possuíam informações com histórico de vendas expressivas e com alta taxa de descarte devido ao seu baixo custo ou reduzido tempo de vida útil. Os EEE escolhidos precisavam também ter alta diversidade de materiais na sua composição e ser de rápida obsolescência, para os quais existem no Brasil algumas atividades voltadas ao reuso dos equipamentos inteiros, componentes e reciclagem (computadores). Apesar da limitação dos dados de vendas de aparelhos e do parque instalado, RODRIGUES (2007) obteve, junto a FGV, ELETROS e ANATEL, dados para montar tabelas de apoio e obter o resultado da Tabela 10 onde é possível claramente verificar o crescimento dos REEE no Brasil.

Uma particularidade que pode ser observada nessa tabela é a redução do volume de REEE gerado durante os anos de 2008 e 2009. Isso pode ser um reflexo da crise econômica internacional que foi percebida mais fortemente naqueles anos.

O Comportamento do consumidor brasileiro com relação ao descarte dos seus EEE, no final de sua vida útil, foi explanado por SARAIVA (2010) em seminário na USP, em 27 de outubro de 2010 sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Ele demonstrou resultado através dos dados da Figura 10, onde é possível observar a quantidade expressiva de eletroeletrônicos fora de uso, guardados, e outra quantidade de mesmo volume aproximado, que é destinada ao lixo.

Tabela 10 - Crescimento do REEE no Brasil

Resíduos Gerados por equipamento ou grupo (t*1000)												
	TV	Vídeo	DVD	Som	Rádio ou CD	CPU	Monitor	Impres.	Tel. Cel.	GED	PED	Total ton/ano
2002	99,6	11,5	0,04	26,5	2,10	18,0	0	12,0	2,31	203,3	15,4	391,0
2003	99,6	16,2	0,38	26,5	1,41	18,0	0	12,0	1,13	203,3	15,9	394,6
2004	99,6	14,6	1,17	20,0	1,03	18,0	26,0	12,0	1,33	203,3	14,0	411,3
2005	121,3	11,9	2,15	13,9	1,45	27,0	26,0	12,0	2,02	206,3	13,4	437,7
2006	170,8	7,0	3,19	13,0	1,89	27,0	26,0	12,0	3,08	221,6	14,0	499,6
2007	156,7	7,2	3,19	16,9	2,83	27,0	39,0	12,4	3,70	220,7	13,4	503,2
2008	116,7	5,7	3,19	17,3	2,41	27,0	39,0	4,00	3,53	215,9	13,6	448,6
2009	80,9	4,3	3,19	15,6	1,99	27,0	39,0	6,00	3,00	215,1	13,9	410,3
2010	105,7	0	3,19	18,7	1,99	27,9	39,0	12,8	3,00	267,7	13,9	494,1
2011	94,3	0	3,19	18,7	1,99	54,0	39,0	12,0	3,00	334,1	13,9	574,4
2012	97,3	0	3,19	18,7	1,99	49,5	40,3	12,0	3,00	314,2	13,9	554,3
2013	115,9	0	3,19	18,7	1,99	74,7	78,0	12,0	3,00	257,3	13,9	578,9
2014	115,9	0	3,19	18,7	1,99	54,0	71,5	12,0	3,00	237,2	13,9	531,6
2015	115,9	0	3,19	18,7	1,99	54,0	107,9	12,0	3,00	248,2	13,9	579,0
2016	115,9	0	3,19	18,7	1,99	54,0	107,9	12,0	3,00	260,7	13,9	591,6

Fonte: RODRIGUES, 2007

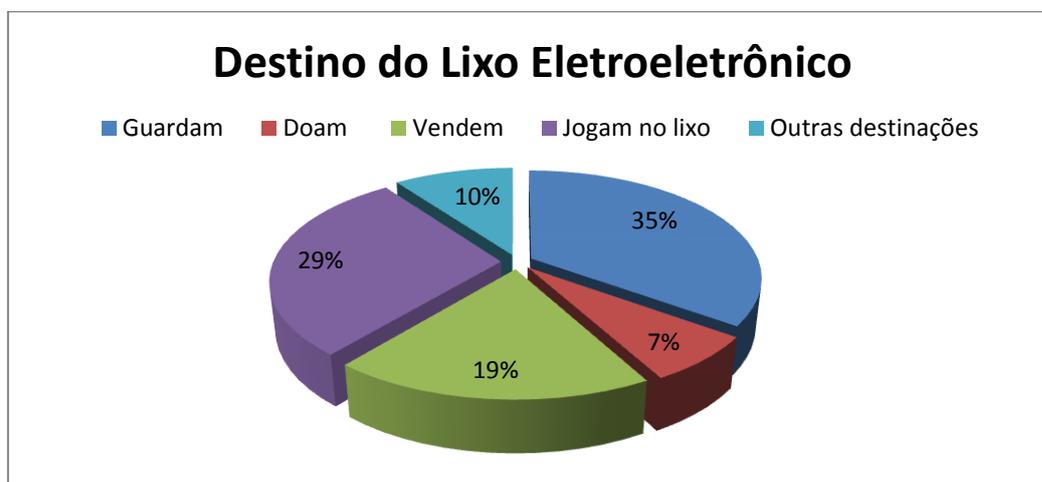


Figura 10 - Destinação do lixo eletroeletrônico pela população brasileira
Fonte: SARAIVA, 2010

2.11.2. Normas que regulamentam os REEE'S no Brasil

As questões relacionadas ao gerenciamento de resíduos sólidos começaram a ser discutidas no Congresso Nacional e no CONAMA, no final da década de 1990, quando criaram as resoluções contendo o Princípio da Responsabilidade pós-consumo. Setores industriais, como os eletroeletrônicos

(pilhas e baterias), os pneumáticos (pneus) e o petroquímico (óleos e lubrificantes usados), passaram a ter obrigatoriedade quanto ao recolhimento e disposição final²⁸ ambientalmente adequada.

O CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) foi criado pela Lei 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, (PNMA), com a finalidade de assessorar, estudar e propor ao Conselho de Governo, diretrizes e políticas governamentais, sobre normas e padrões compatíveis com um meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida. Portanto, é uma entidade dotada de poder regulamentar em razão de expressa determinação legal.

Até a edição da Lei 12.305/2010, que disciplina a Política de Resíduos Sólidos, o Brasil apresentava uma gestão de resíduos pautada por algumas resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e por ações voluntárias por parte do mercado.

No entanto, apesar da falta de regulamentação mais consistente, as diretrizes europeias já vinham influenciando a forma de produção de algumas empresas fabricantes de computadores no Brasil²⁹ (LEITE et al, 2011), como por exemplo, a diretiva ROHS Europeia, que obriga empresas que vendem seus produtos na Europa a seguirem normas técnicas de produção para a diminuição do possível impacto ambiental causado por produtos eletroeletrônicos. Atualmente não há regulamentação específica³⁰ em âmbito nacional para o tratamento dos REEE's, apesar de existirem leis e projetos de leis em alguns estados. O estado de São Paulo, por exemplo, possui uma lei específica que trata do lixo tecnológico, a Lei 13.576/2009. Também existem diversas iniciativas, como empresas de desmontagem e destinação de REEE, campanhas de coleta e projetos de empresas e entidades ambientais que, contudo, carecem da escala necessária para o equacionamento dos problemas gerados pelo descarte inadequado dos REEE's³¹.

A entrada em vigor da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) introduziu um novo marco legal para o tratamento do tema no âmbito das responsabilidades, inclusive com a obrigação de implantação de sistemas de logística reversa.

²⁸ De acordo com a Primeira Conferência da Indústria Brasileira para o Meio Ambiente, realizada pela CNI em Brasília no ano de 2008, conforme Guerra (2012)

²⁹ No caso da Itaotec.

³⁰ É por meio da regulamentação que são definidas as sanções para quem não cumprir a norma e como se dará a implementação das exigências da lei.

³¹ Fonte: <http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=2&menu=3307>

2.11.2.1. Política Nacional dos Resíduos Sólidos no Brasil

Após quase duas décadas de debates, o Congresso Nacional editou a Lei nº 12.305, em agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Essa lei demorou muitos anos para sair do papel, exigindo esforços de todos os segmentos da sociedade para dar solução aos resíduos urbanos.

Na visão de GUERRA (2012), a nova política favoreceu uma dimensão relevante quanto à distribuição das responsabilidades, quanto ao ciclo de vida dos produtos, entre os diversos atores: cidadãos, setor empresarial e o poder público.

As condições necessárias para o seu sucesso não foram todas estabelecidas na Lei. E por isso estão sendo estruturadas através da regulamentação por decretos federais, resoluções do CONAMA e planos de gestão.

A PNRS é a política pública que reúne um conjunto de princípios, metas e ações desenvolvidas pelo Governo Federal por si próprio ou mediante o regime de cooperação com os Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos.

De modo geral, há um estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e de consumo dos bens e serviços, sendo definidos no seu art. 3º, inciso XIII, como: “a produção e consumo de bens e serviços de forma a atender às necessidades das atuais gerações e permitir melhores condições de vida, sem comprometer a qualidade ambiental e o atendimento das necessidades das futuras gerações”.

Essa lei incentiva os fabricantes a adotarem procedimentos adequados à produção de produtos não agressivos ao ambiente, à saúde humana e à destinação final de resíduos, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública, à segurança, bem como a minimizar os impactos ambientais adversos.

Também foi estabelecida a criação do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR). O sistema será responsável por recolher, integrar e divulgar informações sobre resíduos sólidos com rapidez e qualidade para suprir a carência de dados no Brasil que serão importantes para traçar metas e conferir se as mesmas estão sendo atingidas.

A PNRS alinhou vários atores: governos federal, estadual e municipal, o movimento dos catadores, o setor empresarial e também os consumidores. Consagrou como prioridade o tratamento de resíduos, focando especialmente a reutilização e a reciclagem, antes da disposição em aterros.

Em termos práticos, entre os objetivos principais da Política estão: a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamentos dos resíduos; disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; a racionalização do uso dos recursos naturais no processo de produção dos novos produtos; o aumento da reciclagem; a intensificação de ações de educação ambiental; a promoção da inclusão social e a geração de emprego e renda para catadores de materiais recicláveis.

A lei também diferencia o resíduo (aquilo que tem valor econômico e que pode ser reciclado ou reaproveitado) de rejeito (qualquer material considerado inútil depois de esgotadas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis)³², e trata de todo tipo de resíduo, incluindo o doméstico, o industrial, o da construção civil, à exceção dos rejeitos radioativos.

Um dos caminhos previstos na PNRS, que vai garantir ao Brasil o aumento da reciclagem, é o da coleta seletiva. O aumento da reciclagem terá também o condão de evitar que esses resíduos cheguem aos aterros sanitários, possibilitando o reaproveitamento de materiais, além de trazer oportunidade de geração de trabalho e renda e de inclusão social.

Após a regulamentação, através do Decreto 7.404/2010, a política de resíduos sólidos entrou em nova fase, que depende dos acordos setoriais e de uma proposta que inclua metas e regras de funcionamento para os mecanismos de redução, reciclagem, logística reversa e outros instrumentos.

A Lei dá a devida importância aos resíduos perigosos, quando prevê a obrigação da logística reversa, como no caso dos resíduos de eletroeletrônicos, que, aliado ao fato do consumo em massa, após o uso se transformam em lixo perigoso, causando danos tanto ao meio ambiente quanto à saúde da população.

A Lei da PNRS é abrangente e complexa por atender a uma diversidade de interesses ambientais, sociais e econômicos, e em linhas gerais, pode ser

³² Fonte: http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_publicacao/125_publicacao19012012022259.pdf

mais bem compreendida sob o ponto de vista dos seus quatro grandes eixos³³, conforme explicado por DEL BEL (2010).

O primeiro reúne normas que se referem aos padrões de qualidade ambiental, como: as prioridades para a reciclagem e reaproveitamento; erradicação dos lixões; recuperação das áreas contaminadas ou degradadas e a proibição das importações de resíduos perigosos.

O segundo eixo agrupa as normas que estabelecem os instrumentos de gestão pública de planejamento e controle, planos de gestão: nacional, estaduais, microrregionais e intermunicipais, planos de gerenciamento das empresas, sistemas de informação, inventários e sistema declaratório.

No terceiro eixo estão as normas que tratam da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, logística reversa e acordos setoriais.

E no último eixo, se encontram as normas que estabelecem os instrumentos de incentivo à política, como o estímulo à inclusão dos catadores, o apoio a soluções regionalizadas, a prioridade no acesso a recursos federais e os incentivos fiscais, financeiros e de crédito.

Portanto, a Política Nacional, além de propiciar a uniformização das leis estaduais e municipais acerca do tema, viabilizou uma estrutura normativa federal na intenção de buscar soluções para os problemas enfrentados atualmente com a gestão dos resíduos sólidos, especialmente nos grandes centros urbanos.

Segundo GUERRA (2012), para que os mecanismos instituídos na citada legislação possam alcançar a efetividade e os resultados necessários, é bastante provável que a sociedade brasileira tenha que esperar por um tempo razoável, isto porque, para que as mudanças aconteçam, devem ser observados aspectos sociais, culturais, de infraestrutura e de natureza econômica.

Assim, o desafio em relação à gestão de resíduos no Brasil já está lançado e nos resta verificar como será aplicado na prática, já que, tratando-se de institutos ainda tão novos e pouco estudados, deverão enfrentar o teste da realidade para saber se realmente contribuirão para a melhoria da proteção ambiental e da qualidade de vida do homem.

Dentre os variados institutos da Lei, será dada uma atenção maior aos aspectos direcionados ao tema da responsabilidade compartilhada, que é uma das facetas da responsabilidade pós-consumo, e seu instrumento de efetivação da política, que é logística reversa, por serem temas intimamente ligados à problemática dos resíduos eletrônicos.

³³ Fonte: <http://200.144.0.250/siteatual/pdf/shs/7BDiogenesDelBel.pdf>

2.11.2.1.1. A responsabilidade pós-consumo compartilhada

Segundo o art. 225 da Constituição Federal, que impõe ao poder público e à coletividade o dever de defender e preservar o meio ambiente, para as gerações presentes e futuras, o legislador nacional passou a elencar e distribuir responsabilidades pela gestão, destinação e/ou coleta dos resíduos sólidos, de acordo com a participação na cadeia da geração dos mesmos.

Assim, para LOUBET (2011), um ponto importante da Lei 12.305/10 foi a mudança de paradigma em relação às responsabilidades pela correta destinação final dos resíduos. A questão do resíduo sólido deixa de ser responsabilidade exclusiva do poder público e passa a ser compartilhada por todos os atores envolvidos no ciclo de vida dos mesmos.

A ideia central da política é fazer com que a vida útil do produto não termine após seu consumo, mas que o mesmo volte ao início de seu ciclo de vida para reaproveitamento como fonte de matéria-prima, ou que ele seja encaminhado como rejeito para uma destinação ambientalmente adequada.

O Decreto 7.404/2010, que regulamenta a Lei 12.305/10, definiu o modelo de responsabilidade compartilhada, onde fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos são responsáveis pelo ciclo de vida dos produtos. Até os consumidores são obrigados (sempre que estabelecido o sistema de coleta seletiva pelo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou quando instituídos sistemas de logística reversa) a acondicionar adequadamente e de forma diferenciada os resíduos sólidos gerados e a disponibilizar adequadamente aqueles reutilizáveis ou recicláveis para coleta ou devolução.

Conforme TELES da SILVA, 2003, *apud* LOUBET (2011), a responsabilidade do fabricante pela destinação final do produto não é exclusiva do Brasil e já vem sendo aplicada em outros países, como por exemplo, na França, desde 1975, em que é responsabilidade do fabricante eliminar os resíduos gerados, mesmo quando estes já não estejam mais em suas mãos.

O art. 3º da PNRS definiu, no inciso XVIII, a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos como o conjunto de atribuições individuais e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar os volume de resíduos

sólidos e rejeitos gerados, bem como reduzir impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos.

É de se registrar que a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos tem os seguintes objetivos estabelecidos pelo artigo 30:

“Art. 30. ...

Parágrafo único. A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos tem por objetivo:

I - compatibilizar interesses entre os agentes econômicos e sociais e os processos de gestão empresarial e mercadológica com os de gestão ambiental, desenvolvendo estratégias sustentáveis;

II - promover o aproveitamento de resíduos sólidos, direcionando-os para a sua cadeia produtiva ou para outras cadeias produtivas;

III - reduzir a geração de resíduos sólidos, o desperdício de materiais, a poluição e os danos ambientais;

IV - incentivar a utilização de insumos de menor agressividade ao meio ambiente e de maior sustentabilidade;

V - estimular o desenvolvimento de mercado, a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis;

VI - propiciar que as atividades produtivas alcancem eficiência e sustentabilidade;

VII - incentivar as boas práticas de responsabilidade socioambiental.”

Portanto, segundo a FIESP (2012), após o uso, os consumidores deverão efetuar a devolução, aos comerciantes ou distribuidores dos produtos, das embalagens e de outros produtos ou embalagens que sejam objeto de logística reversa. Os comerciantes e distribuidores deverão efetuar a devolução, aos fabricantes ou importadores, dos produtos e embalagens. Já os fabricantes e importadores deverão dar a destinação ambientalmente adequada aos produtos e às embalagens, sendo que o rejeito deverá ser encaminhado para a disposição final ambientalmente adequada, na forma estabelecida pelo órgão competente do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e, se houver, pelo Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.

A Lei da PNRS foi omissa em relação à responsabilidade dos produtos órfãos. Contudo, a União Europeia recentemente publicou uma nova diretiva dando uma solução local ao tema. De acordo com a nova diretiva, que teve seu texto aprovado em 19 de janeiro de 2012, cada produtor, ao colocar um produto no mercado, deverá prestar uma garantia financeira, a fim de evitar que os custos da gestão de REEE'S provenientes de produtos órfãos recaiam sobre a sociedade ou sobre os produtores. Fazendo uma analogia com outras normas brasileiras já estabelecidas na área ambiental, a nova diretiva europeia provavelmente servirá como texto base para uma nova norma brasileira.

2.11.2.1.2. Principais punições aos responsáveis pela disposição inadequada dos REEE

Para GUERRA (2012), a responsabilidade pelos danos causados ao meio ambiente, no Brasil, atualmente tem *status* privilegiado, isso porque a matéria recebeu sua devida relevância na Constituição de 88. O art. 225, no seu § 3º, dispôs o seguinte:

"As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas independentemente da obrigação de reparar os danos".

Em relação à responsabilidade administrativa, a Lei 9.605/1998 (Lei de Crimes Ambientais) prevê, no art. 70, que "é considerado infração administrativa ambiental toda ação ou omissão que viole as regras jurídicas de uso, gozo, promoção, proteção e recuperação do meio ambiente".

Essa Lei foi regulamentada pelo Decreto 6.514/2008, que prevê as seguintes sanções administrativas em matéria ambiental: advertência; multa simples; multa diária; apreensão dos animais, produtos e subprodutos da fauna e da flora, instrumentos, petrechos, equipamentos, ou veículos de qualquer natureza utilizados na infração; destruição ou inutilização do produto; embargo de obra ou atividade; demolição de obra; suspensão parcial ou total de atividades; restritiva de direitos (suspensão de registro, licença ou autorização; perda ou restrição de incentivos e benefícios fiscais; perda ou suspensão de participação em linhas de financiamento em estabelecimentos oficiais de crédito; proibição de contratar com a Administração Pública, pelo período de até três anos).

No entanto, o Decreto 7.404/2010 acrescentou ao Decreto 6.514/2008 um extenso rol de infrações referentes à temática dos resíduos sólidos e prevê: pena de multa, que poderá ser aplicada após laudo de constatação; advertência aos consumidores que descumprirem as respectivas obrigações previstas nos sistemas de logística reversa e de coleta seletiva; neste último caso, se houver reincidência, o consumidor poderá receber a penalidade de multa, no valor de R\$50,00 (cinquenta reais) a R\$500,00 (quinhentos reais). No entanto, esta multa poderá ser convertida em serviços de preservação, melhoria e recuperação da qualidade do meio ambiente.

Ainda, o art. 71-A do Decreto 6.514/2008 prevê que no caso de importação de resíduos sólidos perigosos e rejeitos, bem como de resíduos sólidos cujas características causem dano ao meio ambiente, à saúde pública e animal e à

sanidade vegetal, ainda que para tratamento, reforma, reuso e reutilização ou recuperação, será aplicada multa de R\$500,00 (quinhentos reais) a R\$10.000.000,00 (dez milhões de reais).

Assim, conforme GUERRA (2012), as modificações trazidas pelo regulamento da Lei da PNRS evidenciaram os efeitos sobre todos os atores submetidos à Lei 12.305/2010, especialmente os geradores, o setor empresarial e os consumidores, aos quais foram atribuídas diversas responsabilidades.

A respeito da responsabilidade dos geradores, GRANZIERA apud GUERRA (2012) aponta que, em matéria dos resíduos sólidos, vigora um princípio “segundo o qual o gerador de resíduos é responsável por eles do berço ao túmulo, isto é, a responsabilidade do gerador de resíduos não se encerra nem com a disposição final, nem com a entrega do resíduo ao transportador, mesmo que o contrato possua cláusula específica sobre a transferência de responsabilidade, para que este transporte os resíduos até o local de sua disposição final”.

No que tange aos empreendimentos empresariais, estes responderão civilmente pelo gerenciamento inadequado dos respectivos resíduos ou rejeitos, na forma do art. 27, § 1º da Lei 12.305/2010. No que tange aos consumidores, cabe-lhes a responsabilidade administrativa de advertência em decorrência do descumprimento das obrigações previstas nos sistemas de logística reversa e coleta seletiva.

No caso de descumprimento na obrigação prevista no sistema de logística reversa, a Lei 12.305 prevê multa de R\$5.000,00 (cinco mil reais) a R\$50.000000,00 (cinquenta milhões de reais)

Finalmente, cabe ao poder público atuar como coadjuvante, como mero fiscal das responsabilidades dos geradores, conforme o disposto no art. 29 da Lei 12.305/2010.

No tocante aos crimes ambientais relacionados aos resíduos, de acordo com o art. 54 da Lei 9.605/98, as penas podem variar de um a cinco anos, se o crime ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos e nos casos do infrator deixar de adotar, quando assim o exigir a autoridade competente, medidas de precaução em caso de risco de dano ambiental grave ou irreversível.

Em relação aos produtos perigosos ou substâncias tóxicas, segundo o artigo 56 da Lei dos Crimes Ambientais, as penas serão de um a quatro anos e multa, quando o infrator produzir, processar, embalar, importar, exportar,

comercializar, fornecer, transportar, armazenar, guardar, ter em depósito ou usar produto ou substância tóxica, perigosa ou nociva à saúde humana ou ao meio ambiente, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou nos seus regulamentos; quando houver o abandono dos respectivos produtos ou substâncias ou os utilizar em desacordo com as normas ambientais ou de segurança; quando o infrator acondicionar, armazenar, coletar, transportar, reutilizar, reciclar ou der destinação final a resíduos perigosos de forma diversa da estabelecida em lei ou regulamento.

2.11.2.1.3. Logística reversa

Dentro do conceito de responsabilidade compartilhada, a lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece as bases de uma prática que promete marcar a ação das empresas e a gestão do lixo no Brasil: a logística reversa. É um dos principais instrumentos para a efetivação da PNRS. Significa a recuperação de materiais após o consumo, dando continuidade ao seu ciclo de vida como insumo para a fabricação de novos produtos.

A logística reversa é importante no contexto da gestão de resíduos, conforme GUARNIERI (2011), pois gera retorno econômico e contribui para a sustentabilidade do planeta, principalmente quando é considerado que, após o processo logístico direto, são gerados diversos resíduos, tanto de bens no final de sua vida útil, como também bens sem ou com pouco uso.

De acordo com LEITE (2011), mesmo antes da PNRS, muitas empresas já realizavam os processos de reaproveitamento dos produtos por meio da reciclagem, reuso, desmanche e remanufatura no retorno de papéis, metais, plásticos, mesmo os eletrônicos e eletrodomésticos. E o aumento da preocupação com o meio ambiente vem tornando importante a reutilização dos materiais e, conseqüentemente, a formação de um ciclo que parte do consumidor e chega novamente ao fornecedor. O gerenciamento desse caminho inverso é chamado de logística reversa.

O *Council of Logistics Management* - CLM (1993) *apud* LEITE (2011) define a logística reversa como: “o processo de planejamento, implantação e controle da eficiência e custo efetivo do fluxo de matérias-primas, estoque em processo, produtos acabados e as informações correspondentes do ponto de consumo para o ponto de origem, com o propósito de recapturar o valor ou destiná-lo à sua apropriada disposição.”

De BRITO & DEKKER (2002) *apud* LEITE (2011) veem a logística reversa como uma forma de obtenção de lucro, direta e indiretamente, por meio do reaproveitamento de componentes, materiais constituintes ou de ganho de imagem, de diferentes formas. Ressaltam que em razão da maior atenção dada à preocupação com o meio ambiente, as empresas estão adquirindo uma nova visão de marketing social, ambiental e, principalmente, de responsabilidade empresarial, por terem consciência que, mesmo involuntariamente, acabam poluindo e causando danos ambientais.

Nos termos do art. 13 do Decreto 7.404/10, a logística reversa é:

“...o instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado pelo conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo, ou em outros ciclos produtivos ou outra destinação final ambientalmente adequada.”

Em seu artigo 33, a Lei que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos diz que são obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de: produtos eletroeletrônicos e seus componentes; pilhas e baterias; agrotóxicos, seus resíduos e embalagens; pneus; óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista. Para operacionalizar a logística reversa, eles podem tomar medidas como:

“I - implantar procedimentos de compra de produtos ou embalagens usados;
II - disponibilizar postos de entrega de resíduos reutilizáveis e recicláveis;
III - atuar em parceria com cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis...”.

De acordo com o artigo 33, a Lei 12.305/10 estabeleceu ainda que os consumidores deverão efetuar a devolução, após o uso, aos comerciantes ou distribuidores dos produtos. Esses, por sua vez, deverão efetuar a devolução aos fabricantes ou aos importadores que serão responsáveis pela destinação ambientalmente adequada dos produtos reunidos ou devolvidos, sendo o rejeito encaminhado para a disposição final ambientalmente adequada.

O artigo prevê ainda a possibilidade de fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes firmarem acordo com o titular do serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, para que esse último se encarregue das atividades de responsabilidade daqueles, no sistema de logística

reversa, mediante remuneração financeira acordada previamente. Dessa forma seria possível uma representação gráfica da responsabilidade de todos conforme a Figura 11.

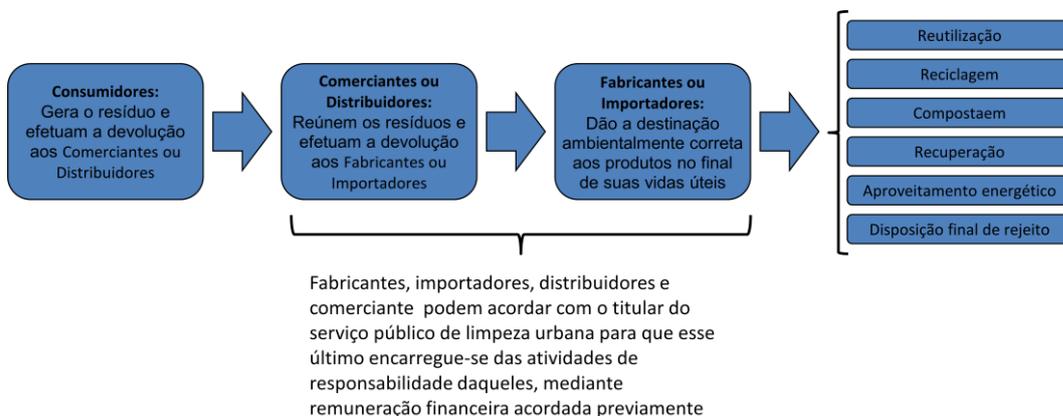


Figura 11 – Art. 33 da PNRS - Logística Reversa

O ator principal de todo o processo da logística reversa (LR) é o consumidor. Sem seu engajamento efetivo, a LR será, sequer, iniciada e não haverá material para sustentar o processo. Assim, precisam ser disponibilizados canais de comunicação e instruções para o consumidor encaminhar seus produtos após o consumo.

Até o advento da Lei de Resíduos Sólidos, a matéria relacionada à logística reversa era carente de uma norma geral e não possuía uma sistematização no Direito Ambiental. E na falta de uma lei geral, a logística reversa já era prevista em norma infralegal para as embalagens de agrotóxicos, pilhas e baterias, óleos lubrificantes e pneus. Assim, no caso desses produtos, sua aplicação é imediata, pois já estão devidamente regulamentados.

O mesmo não acontece com os produtos eletroeletrônicos, seus componentes, e as lâmpadas fluorescentes que ainda estão em processo de regulamentação para que se dê a obrigatoriedade da logística reversa desses produtos.

Para LOUBET (2011), o rol de produtos sujeitos à logística reversa é meramente exemplificativo na Lei, pois deixou em aberto a possibilidade de obrigação de logística reversa para outros produtos, conforme se percebe da redação do parágrafo primeiro, do artigo 33,

§ 1º Na forma do disposto em regulamento ou em acordos setoriais e termos de compromisso firmados entre o poder público e o setor empresarial, os sistemas previstos no caput serão estendidos a produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro, e aos demais produtos e embalagens, considerando, prioritariamente, o grau e a extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados.

No entanto, a implantação dos sistemas de logística reversa, em termos práticos, ainda é dependente dos acordos setoriais que são atos de natureza contratual, firmados entre o poder público e os fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, que ainda estão em fase de estudos para futura regulamentação.

Os instrumentos para operar os sistemas de logística reversa são: regulamentos expedidos pelo poder público, como o Decreto 7.404/2010; acordos setoriais; e termos de compromisso.

2.11.2.1.4. Acordos Setoriais e Termos de Compromisso

Os acordos setoriais foram definidos na Lei da PNRS, no art. 3º, inciso I, a saber:

“...ato de natureza contratual firmado entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, tendo em vista a implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto e, de acordo com o art. 34, poderão ter abrangência nacional, regional, estadual ou municipal.”

O processo para instalação da logística reversa já foi iniciado pelo poder público. Foram instalados grupos de trabalho para debater e definir quais os tipos de produtos de cada cadeia de responsabilidade compartilhada e os tipos de resíduos que serão submetidos à logística reversa. Devem participar desses grupos todos os atores envolvidos dentro da cadeia, como importadores, fabricantes, distribuidores, comerciantes, o Movimento Nacional de Catadores de Material Reciclável, e representantes dos estados e dos municípios.

Num primeiro momento, a finalidade dos grupos de trabalho é definir essa modelagem, determinando, por exemplo, como será custeado todo o processo e quem vai arcar com ele. A segunda etapa será a elaboração de um estudo de viabilidade técnico-econômica para as cadeias de responsabilidade compartilhada e depois a definição de subsídios para elaboração de um edital onde o Governo Federal convocará um acordo setorial para cada uma delas.

O processo começará com lançamento do edital e a realização dos acordos setoriais. Em seguida, o Governo Federal colocará as propostas definidas em consulta pública, quando e onde o cidadão terá oportunidade de opinar, de argumentar e dizer se concorda com os termos. O Governo então analisará a proposta e, estando de acordo com o edital, convocará as partes

para ratificarem um acordo setorial. Um contrato será assinado, publicado e passará a valer para o país todo.

Embora o Grupo de Trabalho dos EEE, coordenado pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), já tenha avançado rumo a um Acordo Setorial dos REEE's que deverá culminar em um Decreto, ainda persiste dúvida quanto à natureza dos REEE's no final da vida útil – se perigosos ou não³⁴, como pode ser percebido no texto retirado da 9ª Reunião do Grupo de Trabalho Temático – Eletroeletrônicos.

Foi levantado também como tema primordial o avanço do encaminhamento quanto à natureza do REEE's no final da vida útil - perigosos ou não. Assim, apresentamos anexa minuta da carta enviada à CETESB, e que devemos encaminhar ao IBAMA na busca de um entendimento da disciplina para facilitar a LR (logística reversa) em todo o território nacional.

Em especial, para o caso dos terminais celulares ainda existe citação na mesma reunião, que põe em dúvida se o tratamento já dado por algumas operadoras de telefonia celular aos terminais obsoletos continuaria sendo considerado correto, caso esses EEE fossem considerados perigosos. Como pode ser verificado no texto a seguir:

SMA (Secretaria de Meio Ambiente) Resolução Nº 011/SP – disciplina o descarte de aparelhos de celulares e seus acessórios. Este tema avançou por conta de já existir uma possível solução integrada entre as operadoras, os fabricantes, o operador logístico e a destinação para a reciclagem, levando em consideração que a questão anterior deve ser superada a fim da implantação, pois, caso seja julgado produto perigoso, a implementação estará totalmente comprometida.

No tocante aos eletroeletrônicos, existe uma grande chance de, no futuro, ser criada uma taxa sobre consumo para custear a reciclagem de eletrônicos, embora ainda não haja previsão legal. Alguns pesquisadores sugerem a criação da taxa de consumo, a exemplo do que acontece em países europeus³⁵ e no Japão.

2.11.2.1.5. Princípio do poluidor-pagador e do protetor-recebedor

A Lei, no seu artigo 6º, trouxe alguns princípios já consagrados pelo direito ambiental, privilegiando, conforme a letra da Lei:

I - os da prevenção e da precaução;

³⁴ Conforme consta no relatório da, até então, última reunião ordinária, realizada em 30/3/2012, http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1339596773.pdf

³⁵ Fonte: <http://www.redebrasilatual.com.br/temas/cidadania/2011/07/especialistas-sugerem-adocao-de-pontos-verdes-e-taxa-para-reciclagem-de-materiais-eletronicos>

- II - o poluidor-pagador e o protetor-recebedor;
- III - a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;
- IV - o desenvolvimento sustentável;
- V - a ecoeficiência mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida a população, e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;
- VI - a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade;
- VII - a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- VIII - o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;
- IX - o respeito às diversidades locais e regionais;
- X - o direito da sociedade à informação e ao controle social;
- XI - a razoabilidade e a proporcionalidade.

Sem desmerecer os princípios elencados pela Lei da PNRS, devem ser ressaltados os princípios do poluidor-pagador e do protetor-recebedor, cuja análise recai sobre os verdadeiros custos do uso dos recursos naturais.

Um dos instrumentos que ajudam a enfrentar as graves degradações ambientais provocadas pelo consumo de produtos é a aplicação do princípio da responsabilidade pós-consumo, sendo este corolário do princípio constitucional do poluidor-pagador, segundo LOUBET (2011).

O princípio do poluidor-pagador (PPP) foi introduzido no Direito Ambiental pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), e trata dos aspectos econômicos das políticas ambientais. Já o princípio do protetor-recebedor foi introduzido pela Lei da PNRS, e estabelece uma lógica inversa ao outro princípio.

O princípio do poluidor-pagador parte da constatação de que os recursos ambientais são escassos e que o seu uso na produção e no consumo acarreta a sua redução e degradação.

Para LOUBET (2011), o princípio do poluidor-pagador não é uma punição, não sendo necessário que o poluidor venha cometer infrações. Basta a comprovação do uso do recurso ambiental ou da sua poluição. Mesmo diante da autorização administrativa para poluir, o agente poluidor terá que pagar pela poluição efetuada.

Além de constar na Declaração sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Princípio 16), também está previsto na Constituição Federal, artigo 170, VI, que trata da ordem econômica, a qual dispõe que um de seus princípios é “da defesa do meio ambiente, inclusive mediante tratamento diferenciado conforme impacto ambiental dos produtos e serviços e de seus processos de elaboração e prestação;”

O princípio ainda é encontrado na legislação infraconstitucional no inciso VII, do art. 4º da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, quando estabelece que deverá ocorrer a *“imposição ao usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos”*.

O fato é que a aplicação do princípio do poluidor-pagador gera uma transferência do custo ambiental ao consumidor, o que tem sido objeto de crítica por muitos autores.

Porém, LOUBET (2011) defende que é melhor que o custo ambiental de um produto ou serviço seja arcado por aquele que irá consumi-lo, ao invés de ser transferido para toda a sociedade, seja pela queda da qualidade de vida, seja pelo aumento da carga tributária, para que o Estado possa combater os respectivos problemas ambientais.

Segundo as palavras de ANTUNES (2011), “o elemento que diferencia o PPP da responsabilidade ambiental é que esta busca afastar o ônus do custo econômico das costas da coletividade e dirigi-lo diretamente ao utilizador dos recursos ambientais. O PPP não pretende recuperar um bem ambiental que tenha sido lesado, mas sim estabelecer um mecanismo econômico que impeça o desperdício de recursos ambientais, impondo-lhes preços compatíveis com a realidade de forma que reflitam os custos ambientais”.

Em contrapartida, segundo SITÔNIO (2010), o princípio do protetor-recebido (PPR) tem como objetivo incentivar aquele que, de uma forma ou de outra, deixou de explorar um recurso natural que era seu, em benefício do meio ambiente e da coletividade.

Este novo princípio poderá servir como justificativa para remuneração, por exemplo, daquelas pessoas que preservaram voluntariamente uma floresta, ou até mesmo mantiveram intactas suas reservas legais ou áreas de preservação permanente.

Outro exemplo do princípio do protetor-recebido previsto na Lei do PNRS, mas executado por terceiros, segundo SITÔNIO (2010), é a remuneração indireta por serviços ambientais prestados por cooperativas ou associações de catadores. Para o autor citado, nada mais justo remunerar diretamente essas pessoas pelos serviços prestados à coletividade, na proteção desses recursos ambientais, deixando de explorá-los naquilo que é possível.

2.11.2.1.6. Aspectos tributários

A questão tributária é um dos grandes desafios para a aplicação da PNRS. Embora a Lei do PNRS e seu Decreto Regulamentador tenham como instrumentos para a Política os incentivos fiscais, financeiros e creditícios, a falta de incentivos governamentais à atividade de comércio de sucatas e reciclagem tem sido um obstáculo ao crescimento mais acentuado do setor. Na verdade, antes de falar em incentivos, é necessário eliminar os “desincentivos” e dúvidas, que não são poucos na esfera tributária, em nível federal, estadual e mesmo municipal.

Segundo BLEY JR³⁶, para o transporte estadual, o ICMS das sucatas é diferido, mas no transbordo entre fronteiras estaduais, incide plenamente. O IPI, imposto federal, é diferenciado para alguns casos, mas volta a incidir sobre as sucatas, principalmente se elas forem pré-industrializadas, como na forma de flakes de plásticos, lingotes de alumínio, pastas mecânicas de papel e assim por diante. E os impostos municipais ISS incidem sobre todas as atividades, a cada movimentação registrada em notas fiscais.

O autor ainda propõe uma justiça fiscal, de modo a isentar de impostos os materiais recicláveis obtidos no lixo ou em programas de coleta seletiva, em todos os estágios necessários, para que cheguem à indústria da reciclagem sem estarem onerados. Ele justifica que, com isso, as indústrias poderiam se fortalecer, e praticar preços mais estimulantes aos demais agentes da logística reversa; os índices brasileiros de reciclagem aumentariam ao mesmo tempo em que as despesas públicas com a gestão dos lixos se reduziriam.

2.11.2.2. Resolução CONAMA 257/1999 – Destinação de baterias

A Resolução CONAMA 257/1999 levou em conta a necessidade de disciplinar o descarte e o gerenciamento ambientalmente adequado de pilhas e baterias usadas que contenham em suas composições chumbo, cádmio, mercúrio e seus compostos, no que tange a coleta, reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final. A resolução determinava que as mesmas deviam ser entregues pelos usuários aos estabelecimentos que as comercializavam ou à rede de assistência técnica autorizada pelas respectivas indústrias, para repasse aos fabricantes ou importadores, para que estes adotassem, diretamente ou por

³⁶ Fonte: <http://www.reciclaveis.com.br/cicero.htm>

meio de terceiros, os procedimentos de reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final ambientalmente adequada.

No entanto, a norma acima foi revogada pela Resolução 401/2008, que estabeleceu os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado.

Além disso, os fabricantes nacionais e os importadores de pilhas e baterias ficam obrigados a apresentar, ao órgão ambiental competente, um plano de gerenciamento de pilhas e baterias que contemple a destinação ambientalmente adequada.

Os estabelecimentos que comercializam pilhas e baterias portáteis, as baterias chumbo-ácido, automotivas e industriais e as pilhas e baterias dos sistemas eletroquímicos níquel-cádmio e óxido de mercúrio, bem como a rede de assistência técnica autorizada pelos fabricantes e importadores desses produtos deverão receber dos usuários as pilhas e baterias usadas, respeitando o mesmo princípio ativo, sendo facultativa a recepção de outras marcas, para repasse aos respectivos fabricantes ou importadores.

Nos materiais publicitários e nas embalagens de pilhas e baterias, fabricadas no país ou importadas, deverão constar a simbologia indicativa da destinação adequada, as advertências sobre os riscos à saúde humana e ao meio ambiente, bem como a necessidade de, após seu uso, serem encaminhadas aos revendedores ou à rede de assistência técnica autorizada.

3. . SUPORTE À TELEFONIA CELULAR, CONCEITOS E EVOLUÇÃO.

Os telefones celulares estão muito difundidos e seu uso, em diversas funções, como “twitter”³⁷, ainda mais. É comum vermos nas ruas pessoas utilizando os aparelhos não só para telefonar, sua função básica, mas também para navegar na internet, utilizar os serviços móveis de valor agregado (SVA)³⁸ ou se entreter com o universo de aplicativos³⁹ que os pequenos terminais possuem. Também é comum encontrarmos aplicações M2M⁴⁰ no nosso cotidiano, mesmo que elas não estejam tão aparentes para o público em geral.

Nesses mais de 30 anos de telefonia móvel celular, a necessidade da comunicação por voz em qualquer lugar popularizou o uso dos pequenos aparelhos, e as inovações embarcadas nas inúmeras aplicações obtidas com o avanço da tecnologia de software e hardware trouxeram o constante interesse dos usuários por aparelhos mais modernos, menores, mais estilizados e que estivessem em moda.

Os celulares estão ajudando a sociedade na era digital (CASTELLS & CARDOSO, 2005) a estar “mais conectada” com o mundo e com outras pessoas. A capacidade dos telefones celulares de permanecerem constantemente conectados à rede de voz e de dados (inclui-se aqui a Internet), mesmo com os usuários em movimento, tem viabilizado a utilização, de modo ininterrupto, de redes sociais como facebook, twitter e orkut; de aplicativos de localização; de acesso a páginas na internet; do uso de e-mails; serviço de

³⁷ Twitter – é o ato que um usuário do blog Twitter, uma rede de informação em tempo real, executa ao enviar uma mensagem curta (Tweet), de até 140 caracteres, para um ou mais usuários cadastrados como seus amigos no mesmo serviço. (fonte: <https://twitter.com/about>).

³⁸ Conforme definido pela RESOLUÇÃO ANATEL Nº 190, DE 29 DE NOVEMBRO DE 1999, Serviço de Valor Adicionado (SVA) é a atividade que acrescenta a um serviço de telecomunicações, que lhe dá suporte e com o qual não se confunde, novas utilidades relacionadas ao acesso, armazenamento, apresentação, movimentação ou recuperação de informações. Como exemplo pode ser citado o uso de SMS, TV pelo Celular, MMS, Internet Móvel, e-mails etc.

³⁹ Aplicativos são programas desenvolvidos pelos fabricantes dos terminais, ou por seus parceiros, que já vêm contidos nos aparelhos ou são instalados pelos usuários depois de baixados pela internet. Exemplos de aplicativos são jogos e leitores de texto,

⁴⁰ Comunicação Máquina-máquina do inglês “*Machine to Machine Communications*”, comumente chamado de M2M ou Telemetria, habilita a comunicação remota entre dispositivos ou máquinas, permite que informações principais sejam trocadas automaticamente entre máquinas sem a interferência humana.

mensagens rápidas (vulgarmente conhecidos como torpedos); e, entre outras coisas, chamadas telefônicas.

O objetivo desse capítulo é explanar sobre a evolução da telefonia celular e das tecnologias empregadas na sua viabilização. Nesse sentido, cabe demonstrar que não há como atender à demanda crescente de usuários, sem a evolução da tecnologia de telefonia móvel celular e, inevitavelmente, a troca de aparelhos por esse motivo específico.

3.1. Telefonia Móvel Celular

Ao contrário do sistema fixo de telefonia comutada (STFC), que utiliza um par de fios para conectar os assinantes à rede e transmitir voz e pacotes (dados, voz, imagens estáticas e vídeos), a telefonia móvel emprega ondas de rádio dentro do espectro de frequência.

No Brasil, depende-se de uma concessão do Governo Federal para que o serviço seja prestado por empresas particulares operando a modalidade de comunicação telefônica, onde os assinantes mantêm a mobilidade enquanto se comunicam. O sistema de telefonia móvel celular faz uso do espectro de rádio frequências (RF) para prover a conectividade dos usuários móveis com todo o restante da rede de telecomunicações, inclusive com a Rede de Telefonia Fixa Comutada e a Internet.

3.1.1. Espectro de Frequências

A radiofrequência (RF), incluindo os raios x e a luz visível, é uma parte do espectro eletromagnético e propaga-se por ondas através do espaço à velocidade da luz (cerca de 300 mil km por segundo). Estas ondas são utilizadas em diversas aplicações além da telefonia celular, como televisão, rádio, micro-ondas e raios x.

O espectro de frequências constitui um recurso natural escasso e seu uso é controlado no Brasil pela ANATEL. As operadoras de telefonia celular, para fazerem uso dele, têm que pagar por uma licença adquirida através de leilão. A Tabela 11, abaixo, demonstra a alocação do espectro, definido pela ANATEL, para as faixas de frequências mais antigas da Telefonia Móvel Celular no Brasil, as bandas A e B. Essas faixas são fixas e, dependendo da tecnologia de acesso,

e da densidade de antenas, é possível colocar mais ou menos clientes falando dentro da mesma área de cobertura da estação de rádio base.

Tabela 11 - Tabela de alocação de frequências do SMP⁴¹ para as bandas A e B

Banda	Transmissão do Móvel (MHz)	Transmissão da Rádio Base (MHz)	Largura de Banda (MHz)
A	824 a 835	869 a 880	11
B	835 a 845	880 a 890	10
A´	845 a 846,5	890 a 891,5	1,5
B´	846,5 a 849	891,5 a 894	2,5

Fonte: ANATEL

3.1.2. Visão da rede

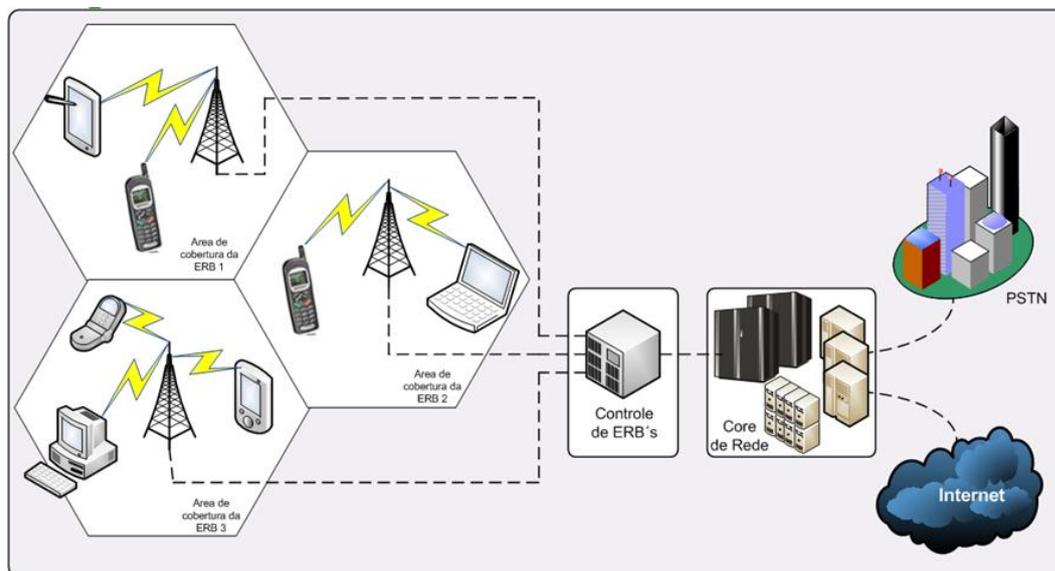
Aqueles que pretendem se tornar usuários da telefonia móvel celular devem contratar o serviço junto a uma operadora e possuir um telefone móvel celular que opere na faixa de frequência adquirida por ela, na área de registro escolhida pelo assinante. Além disso, quando o usuário tem intenção de originar uma chamada, ele deve estar dentro da área de cobertura (região onde o telefone móvel capta o sinal de radiofrequência emitido pela operadora), provida por um conjunto de antenas e elementos de rede que dão suporte ao seu funcionamento.

A operadora contratada para prestar o serviço ao assinante tem diversos desses conjuntos que fazem parte da rede de acesso e são responsáveis por toda a área de cobertura de radiofrequência da operadora. Cada uma das antenas faz parte de uma estação de rádio base (chamadas de ERB nos sistemas analógicos; BTS nos sistemas CDMA, Node-B nos sistemas W-CDMA e eNode-B nos sistemas LTE) e transmite o sinal de radiofrequência para cobertura de uma determinada área geográfica chamada célula, daí o nome de telefonia celular. As estações de rádio base, por sua vez, são ligadas a equipamentos de controle que fazem a interface com todo o restante da rede (FIORESE, 2005).

A Figura 12, abaixo, demonstra uma rede celular, que envolve: a cobertura gerada pelo RF emitido através das antenas, e que faz parte da rede de acesso junto com o elemento de controle; e o núcleo (Core) da rede da operadora onde é feita a comutação, a conexão com a internet e a conexão com a rede de

⁴¹ SMP – Serviço Móvel Pessoal.

telefonia de outras operadoras fixas e móveis, também chamada PSTN (Public



Switched Telephone Network – Rede de Telefonia Pública. Comutada).

Figura 12 – Rede de telefonia móvel celular

3.1.3. Serviços e aplicações dos terminais de telefonia móvel

As aplicações e serviços prestados pelas redes de telefonia móvel celular iniciaram com a comunicação por voz, como já foi dito, e se estenderam muito além, englobando também mídia de voz e imagem, personalização da linha, rastreamento, pagamentos, internet banking, e uma sorte de serviços que as conexões de dados, muitas vezes aliadas à segurança da informação, podem criar. Essa variedade pode ser exemplificada a seguir, com algumas das aplicações e serviços mais comuns:

SMS – depois da voz, foi um dos primeiros serviços prestados pela telefonia móvel. O SMS (Short Message Service) é um serviço de mensagens curtas, limitada a 160 bytes⁴² e que depende do terminal estar preparado.

Roaming – serviço acordado entre operadoras para que os usuários do sistema tenham condições de se registrar como visitantes, na falta de sinal de sua operadora original. Ainda assim, precisa que o terminal seja capaz de utilizar a frequência disponibilizada pela operadora visitada.

⁴² Byte – cada Byte representa um caractere ou símbolo do teclado do terminal móvel e é formado pelo conjunto de 8 bits (contração de dígito binário do inglês *binary digit*).

MMS – para enviar um MMS, o usuário deve ter um terminal compatível com esse serviço, que possibilite não só enviar textos, mas também dados de multimídia como: fotos, vídeos, sons e animações.

M2M – serviço de dados desenvolvido para aplicações de telemetria, bancos, terminais de cartão de crédito (POS), monitoração de frotas, etc.

RBT – o Ring Back Tone é um exemplo de serviço prestado pela rede da operadora, que possibilita a personalização do serviço para cada usuário. O cliente que fizer uso desse serviço poderá programar uma música, do repertório oferecido pela operadora, que será ouvida por quem lhe originar uma chamada.

IPTV – serviço baseado na banda larga móvel para levar conteúdo televisivo às telas dos terminais móveis, tanto em broadcast como sob demanda.

3.2. Tecnologias de acesso múltiplo

A qualidade das tecnologias de acesso múltiplo é diretamente proporcional à quantidade de usuários que utilizam ao mesmo tempo a mesma faixa de frequência, canal ou portadora, de tamanho definido. Isso é um indicativo da eficiência espectral⁴³, que é a medida para indicar quão boa é a tecnologia de acesso múltiplo empregada.

Alguns fatores, tais como: limitação do espectro de frequência, que é um recurso natural escasso, e seu custo de aquisição; demanda crescente de usuários; necessidade de privacidade nas conversas; e forma de coibir fraudes, levaram à pesquisa de diferentes tecnologias de acesso, que possibilitassem, ainda na mesma faixa de frequência, um número cada vez maior de usuários.

As tecnologias de acesso múltiplo aperfeiçoam o uso dos meios de transmissão, que no caso de telefonia celular é o espectro de frequência. Elas devem ser robustas para garantir confiança, enquanto proporcionam melhores taxas de transmissão a um público cada vez mais ávido por qualidade ao enviar e receber voz, multimídia e dados. Voz e multimídia são muito sensíveis quanto à continuidade do envio e recebimento do fluxo de informações. As informações perdidas ou atrasadas em um fluxo de conteúdo digitalizado causam problemas na qualidade do serviço e não podem ser recuperadas, resultando em desconforto devido aos picotamentos e congelamentos na conversa telefônica

⁴³ Eficiência Espectral – quantidade de informação transportada por faixa de frequência. Normalmente em bits/seg/Hz

ou no streaming de vídeo⁴⁴. A perda de dados durante uma transmissão é contornável através de algoritmos de detecção e cheque de erros; no entanto, acaba sendo necessária a retransmissão, que aumenta a sensação de lentidão da rede.

As tecnologias de acesso devem:

- Possibilitar a existência de vários usuários na mesma faixa de frequência, sem interferência mútua;
- Maximizar o uso do espectro de frequência;

Basicamente, existem quatro tipos de tecnologia de acesso múltiplo empregada em telefonia celular: FDMA, TDMA, CDMA e, mais recentemente, o OFDMA. Cada uma delas será descrita a seguir.

3.2.1. FDMA

Frequency Division Multiple Access – A tradução do nome significa Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência, ou seja, a diferenciação entre os usuários que estão acessando o sistema naquele momento é dada através da divisão igualitária da banda de frequência disponível. Dessa forma, o FDMA diferencia a conversação de diferentes usuários, alocando cada um deles em uma subfaixa de frequência diferente. Os canais podem ser observados na Figura 13.

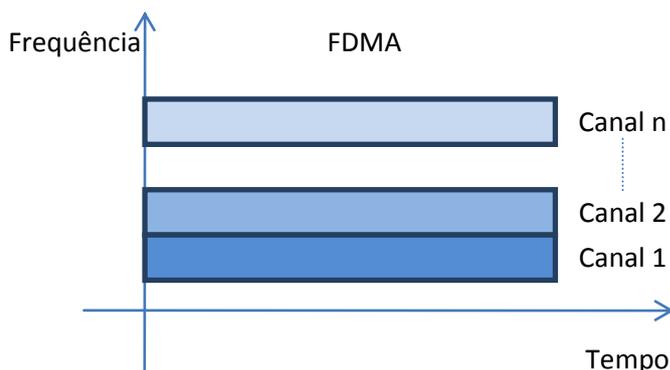


Figura 13 – Tecnologia de acesso FDMA

⁴⁴ Streaming de vídeo – é comumente utilizada para designar um fluxo contínuo de dados que, decodificado por um aplicativo, monta um vídeo na tela de um terminal, seja ele um microcomputador, um tablet ou um celular, um bom exemplo são os vídeos do site www.youtube.com.

3.2.2. TDMA

Time Division Multiple Access – Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo. Técnica de acesso utilizada em sistemas celulares digitais de 2ª Geração. Os canais de radiofrequência de uma banda são divididos no tempo, e assim cada canal é compartilhado por diversos usuários. Ou seja, a conversação entre cada par de usuários ocupa, periodicamente, uma fração de segundos de cada canal. Uma exemplificação simples do uso do TDMA pode ser verificada na Figura 14.

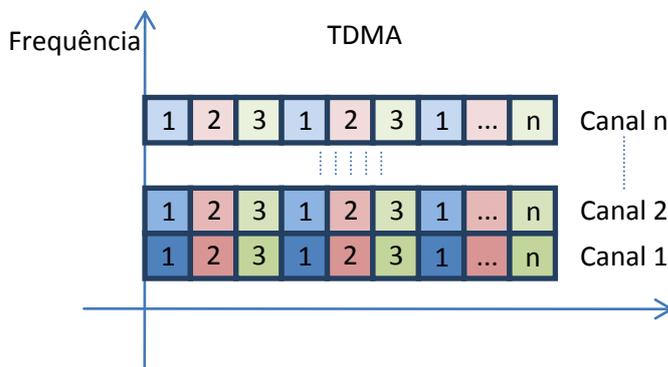


Figura 14 – Tecnologia de acesso TDMA

3.2.3. CDMA

Acesso Múltiplo por Divisão de Códigos (CDMA – Code Division Múltiplo Access) é uma técnica avançada de acesso múltiplo, utilizada em sistemas celulares de segunda e terceira geração. Comparada com os acessos por FDMA e TDMA, tem uma melhor eficiência espectral.

Nas tecnologias de acesso múltiplo, mencionadas anteriormente, para que a conversação entre dois usuários fosse diferenciada de outra, o usuário utilizava uma faixa de frequência (FDMA) ou intervalos de tempo periódicos dentro de uma faixa de frequência (TDMA). No CDMA é utilizado um canal (1,25Mhz) com uma faixa de frequência muito maior que as utilizadas no FDMA e no TDMA (30KHz). Além disso, no CDMA, todas as conversações utilizam ao mesmo tempo o mesmo canal, que é chamado de portadora. Por isso, para que fosse diferenciada uma conversação da outra, foi utilizada uma criptografia que gerasse um código único para cada uma delas (HAYKIN & MOHER, 2008).

A existência de um código nas conversações faz com que cada usuário seja considerado um ruído para os demais. Dessa forma, o limitante da

quantidade de usuários é a soma dos ruídos dos outros, que pode variar em função da quantidade de usuários, como também em função da distância desses para a estação de rádio base (ERB).

Para exemplificar o CDMA, pode ser feita uma analogia com uma sala fechada onde diversos pares de pessoas estão conversando (no CDMA a sala corresponde a uma faixa de frequência) em línguas diferentes (cada língua corresponde a um código diferente). Apesar de haver diversas pessoas falando ao mesmo tempo, somente aqueles pares que estiverem falando no mesmo idioma se entenderão. Esses pares somente deixarão de se entender a partir do momento em que o ruído provocado pelos outros pares for maior ou igual ao tom que eles estiverem utilizando.

O sistema CDMA foi desenvolvido por militares durante a Segunda Guerra Mundial para criptografia de transmissões e já foi largamente empregado em redes celulares nos EUA e no Brasil. Utiliza bandas, ou portadoras, com faixas de frequência mais largas para carregar cada conversação identificada por um código diferente.

A Figura 15 representa um sistema CDMA, onde cada conversa tem um código de espalhamento diferente, mas todas estão dentro da mesma faixa de frequência.

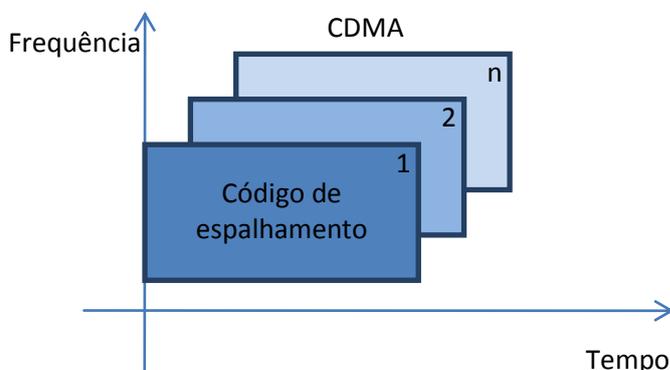


Figura 15 – Tecnologia de acesso CDMA

3.2.4. OFDMA

O Acesso Múltiplo por Divisão de Frequências Ortogonais (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), segundo o 3GPP, deverá ser utilizado para as novas redes LTE (Long Term Evolution).

A banda de espectro disponível é dividida em várias sub-bandas bem estreitas e, como acabam sendo várias, é possível não utilizar os canais que estiverem com elevada interferência.

Traz um esquema de modulação multiportadora, que consiste em dividir uma série de dados em várias porções, e depois transmiti-los paralelamente em cada uma dessas sub-bandas.

3.3. Evolução até o 4G

Desde 1864, quando James Clerck Maxwell formulou a Teoria Eletromagnética da Luz, prevendo a existência das ondas de rádio (HAYKIN & MOHER, 2008), houve um enorme desenvolvimento tecnológico até chegarmos aos dias de hoje com as redes móveis celulares.

Passou mais de um século até que o primeiro sistema de telefonia móvel celular comercial começasse a operar no Japão em 1978 (FIORESE, 2005), depois na Escandinávia em 1981, e, em 1983, o sistema foi iniciado em Chicago (EUA). Foi somente em 1990 que chegou ao Brasil.

No entanto, antes do advento dos celulares, era muito popular a utilização de pagers ou bip's, como o da Figura 16, para a comunicação. O inconveniente era possibilitar a comunicação unidirecional e limitada a textos.



Figura 16 – Modelo de Pager utilizado no Brasil em 1990

Os assinantes do serviço de pager recebiam mensagens de texto enviadas por uma central de atendimento, onde telefonistas atendiam ligações daqueles que desejavam se comunicar com os donos dos pagers, e transcreviam a

mensagem ouvida pelo telefone para uma mensagem de texto que era enviada ao aparelho de pager por uma interface de rádio unidirecional⁴⁵.

A forte penetração da telefonia celular na sociedade extinguiu a comunicação por pager ao longo do tempo, pois se apresentou muito mais útil e prática aos seus usuários devido à facilidade apresentada de comunicação bidirecional⁴⁶ simultânea. As mensagens eram trocadas através de conversas diretas entre a origem e o destino, sem a necessidade de utilização de um interlocutor. Isso inclusive aumentou a segurança das informações e a privacidade.

A telefonia celular começou a revolucionar o mercado na década de 90. Com a sua massificação, os preços de terminais foram reduzidos e, assim, passou a atingir camadas da população de poder aquisitivo mais modesto. A Tabela 12 dá um panorama da situação de algumas das redes de telefonia celular no mundo, no ano de 1994, e nos respectivos anos de início de funcionamento (TELEBRÁS, 1995), para se verificar a velocidade de seu crescimento.

Tabela 12 - Relação da data da ativação de algumas redes celulares Rede

Pais	Terminais em serviço em 1994	Data de ativação
Japão	2400000	1979
Dinamarca	445800	1981
Suécia	1013700	1981
Finlândia	546800	1981
Espanha	316000	1982
EUA	19283300	1983
Alemanha	2146000	1985
França	705000	1985
Itália	1664400	1985
Austrália	1065000	1986
México	440800	1989
Argentina	184800	1989
Chile	89600	1989
Brasil	400000	1990
Venezuela	234800	1990

Fonte: Telebrás

⁴⁵ A comunicação se dava em apenas um sentido e sem a possibilidade de retorno pelo mesmo canal.

⁴⁶ Dois canais de comunicação simultâneos e em sentidos opostos. O primeiro do interlocutor A para o B e o segundo do interlocutor B para o A.

3.4. Evolução das tecnologias para terminais celulares

Para atender à necessidade de adensar a quantidade de assinantes dentro das faixas de frequência, de forma a suprir a demanda crescente por novas linhas e serviços, foi preciso desenvolver melhorias nas tecnologias dos sistemas de acesso. Foram diversas etapas percorridas, mas aos poucos o consenso foi levando a uma tendência de padronização, conforme pode ser verificado na Figura 17, onde a história dos celulares está dividida em quatro gerações.

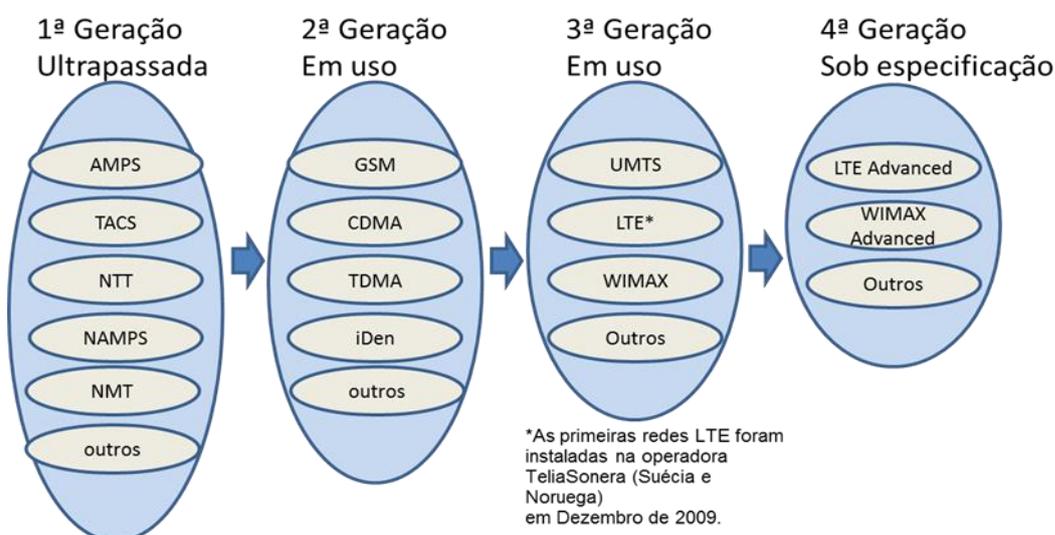


Figura 17 – Gerações das Comunicações Móveis

3.4.1. Primeira geração (1G)

Os Estados Unidos, o Japão e alguns países da Europa iniciaram os trabalhos na primeira geração de telefonia móvel. O sinal de radiofrequência emitido pelos terminais tinha modulação analógica, e não havia transmissão de dados, estando preparado somente para transporte de voz. Em 1979 a Japan's Nippon Telephone and Telegraph Company (NTT) ativou o primeiro sistema celular comercial do mundo. De fato, os primeiros modelos de telefones analógicos eram muito pesados e caros, mas devido ao rápido avanço da microeletrônica e da tecnologia digital, tiveram seu tamanho e peso reduzidos significativamente, quando comparados entre si, como pode ser observado na Figura 18.

O grande impacto da 1ª Geração para a sociedade envolve a novidade e a mobilidade. Estava sendo aberta uma nova fronteira de possibilidades de

serviços, onde o usuário não precisava mais ficar preso a um fio telefônico para poder se comunicar, nem mesmo precisava estar em casa ou no escritório para ser encontrado.



Figura 18 - Redução dos aparelhos entre 1981 e 1998
Fonte: BILLSTRÖM et al, 2006

Esse sistema possuía sérios problemas de segurança e privacidade com linhas cruzadas e interferência. Existiam muitos sistemas adotados por diversos países sem nenhuma padronização, dentre eles podemos destacar o AMPS, NMT e o TACS.

3.4.1.1. AMPS

O Advanced Mobile Phone System ou sistema móvel de telefonia avançada foi utilizado na primeira geração de telefonia móvel e é um sistema analógico baseado na tecnologia FDMA (Frequency Division Multiple Access). Foi lançado comercialmente nos Estados Unidos na década de 80 e foi o primeiro sistema utilizado no Brasil. Esse sistema utilizava a separação de frequências (canais), para identificar cada conversa e por isso requiritava uma grande faixa de frequências para suportar um número elevado de usuários. A largura de seus canais era de 30Khz, atendia apenas a um usuário e não oferecia qualquer tipo de serviço.

3.4.1.2. NMT

Nordic Mobile Telephone – sistema com tecnologia de acesso, utilizada na primeira geração de telefonia móvel existente nos países Nórdicos.

3.4.1.3. TACS

Total Access Communications System – Sistema de Comunicação de Acesso Total baseado em AMPS, que teve o início de sua utilização na Inglaterra.

3.4.2. Segunda Geração (2G)

Na 2ª Geração, a demanda do mercado começou a demonstrar a necessidade de padronização e maior capacidade dos sistemas. Era mandatório colocar mais assinantes num espectro de frequências já limitado e levar o maior número de operadoras a trabalhar com a mesma tecnologia. Com isso surgiu na Europa o GSM (padronizou os diversos mercados dos países europeus) e nos EUA o CDMA (atendendo às requisições dos clientes por maior capacidade). A padronização e a capacidade foram os fatores responsáveis pelo início da massificação da telefonia celular, pois viabilizaram a redução dos custos de implantação de redes, de produção de terminais e do aumento da cobertura da rede móvel.

Apesar do sinal de voz ter sido digitalizado da primeira para a segunda geração, ainda era muito baixa a transmissão de dados. Dessa forma, apenas era viável a transmissão de pequenos textos, dados do tempo, tráfego etc.

A transmissão de voz ainda dominava o mercado, mas a demanda por fax, mensagens curtas, e pela transmissão de dados crescia rapidamente. Serviços suplementares, como prevenção antifraude e encriptação de dados de usuários, tornaram-se características padrão, comparadas àquelas disponibilizadas na rede fixa.

3.4.2.1. GSM

O Global System for Mobile Communications ou Sistema Global para Comunicações Móveis foi usado primeiramente no início da década de 90 na Europa, e possibilitou, além dos serviços de voz, o uso limitado de transmissão de dados. Essa tecnologia de acesso, baseada na divisão da banda de frequência no tempo, constitui o primeiro sistema celular digital operado

comercialmente, e como tal é o sistema celular dominante atualmente devido ao esforço de governos, operadoras e fabricantes para padronizar o sistema. O objetivo desse esforço era ganhar escala de produção com conseqüente redução de custos de produção. E também facilitar a interoperabilidade entre as operadoras, de modo a permitir que os serviços contratados pelos clientes pudessem estar acessíveis, desde que houvesse cobertura de uma rede GSM. Tais fatores ajudaram a disseminar o GSM por diversos países.

Essa tecnologia celular foi inicialmente desenvolvida para ser utilizada em 900MHz, mas seu uso foi expandido para outras bandas em 850MHz, 1800MHz e 1900Mhz. O GSM tornou-se o sistema celular mais difundido no mundo. Segundo estimativas do Informa Telecom & Media, de junho de 2009, em 2011 seriam quatro bilhões⁴⁷ de dispositivos GSM conectados no mundo, e uma das razões está no fato dele utilizar interfaces abertas e padronizadas entre os elementos de rede. Isso permite que as operadoras de telefonia móvel celular combinem elementos de diferentes fabricantes, além de preparar o core de voz e de dados para evoluir a rede para a terceira geração. O GSM permite uma comodidade: a troca do aparelho através da troca do cartão de identificação do assinante, o SIM Card (subscriber identification module), que pode ser visto na Figura 19. Dessa forma, elimina a necessidade do usuário ir à operadora para alterar seus registros, facilitando ainda mais sua difusão, quando comparada a outros sistemas.



Figura 19 - Cartões SIM

3.4.2.2. GPRS

O GSM utiliza circuitos de voz para transmissão de dados a uma taxa muito baixa, 9,6kbps. No entanto, em meados dos anos 90, o ETSI (European Telecommunications Standards Institute) introduziu o GPRS (General Packet Radio Service), considerado em algumas literaturas o 2,5G, passo importante na

⁴⁷ Fonte: <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/3gpp2/cdma2000-1xrtt-basics-tutorial.php>

direção das altas taxas de dados, pois preparou uma rede de dados, o GPRS Core Network. Antes a rede possuía apenas o core de voz e a rede de acesso.

É um serviço de valor agregado, que permite ao celular estar simultaneamente conectado a outras redes diferentes da rede de telefonia móvel, como a Internet. Teoricamente, em condições ideais, atinge taxas de 170kbps, mas na média fica em torno de 40kbps, o que é muito pouco para a satisfação do usuário.

3.4.2.3. EDGE

Em 2003, as operadoras começaram a implantar serviços como o EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution), tecnologia utilizada no padrão de telefonia móvel conhecida como 2,5G, e que permite às redes GSM suportar e oferecer serviços de dados de alta velocidade (em teoria 384 kbit/s), já utilizando a rede de dados criada para atender o GPRS.

3.4.2.4. CDMA IS-95

O CDMA-IS95 (Code Division Multiple Access, Interim Standart 95), Acesso Múltiplo por Divisão de Código, é um padrão digital de segunda geração com um esquema de acesso múltiplo para voz, dados e sinalização, baseado na tecnologia de acesso CDMA.

O projeto do primeiro sistema de telefonia móvel, baseado na tecnologia CDMA, foi idealizado pela Qualcomm, em 1989. Até então, uma pequena companhia iniciante, em São Diego, Califórnia. propunha vantagens sobre o sistema de voz TDMA utilizado pelo GSM, tais como: reuso de frequência pelas células, o que simplificava o planejamento e a melhoria da eficiência espectral; redução da potência do sinal, o que aumentava o tempo de utilização das baterias; devido às estações de rádio base utilizarem a mesma portadora, possibilitou também o soft-handoff, ou seja, o móvel poderia passar de uma célula para outra, conectando-se à célula de destino sem se desconectar da célula de origem; e implementação de controle para desligar a transmissão durante os períodos de silêncio nas conversações (GHOSH et al, 2010).

Durante o início da era digital para a telefonia móvel existia debate sobre qual sistema, TDMA ou CDMA, proveria melhor tecnologia e capacidade de

cobertura. Apesar de evidenciada a superioridade do CDMA, tanto que foi adotado nas tecnologias de terceira geração, o TDMA se difundiu através do GSM como tecnologia de segunda geração, muito provavelmente devido aos custos maiores dos terminais CDMA.

O CDMA, como interface aérea, é utilizado tanto nas redes 2G como 3G. Nesse último, é base para o WCDMA (CDG, 2011)

3.4.2.5. CDMA2000 ou 1XRTT

O CDMA2000 ou 1XRTT é a evolução natural do CDMA IS-95, e foi padronizado como IS-2000. Foi capaz de dobrar a capacidade do seu antecessor para voz e forneceu bandas de transmissão e recepção de dados de até 153 kbps⁴⁸. Essas melhorias com relação ao IS-95 possibilitaram um aumento da eficiência espectral e um ganho para os operadores em relação ao uso do espectro, aliado a isso os usuários puderam perceber melhorias na navegação pela internet.

O 1x no 1xRTT refere-se ao uso de apenas uma portadora de 1.25MHz e o RTT no 1xRTT significa tecnologia de transmissão de rádio (Radio Transmission Technology)⁴⁹.

Assim como o IS-95, o protocolo CDMA-2000 1xRTT foi desenvolvido pela Qualcomm (CDG, 2011).

3.4.2.6. TDMA IS-136

O D-AMPS (Digital AMPS ou AMPS Digital) foi baseado na tecnologia TDMA e tinha por objetivo reaproveitar os investimentos massivos feitos na implantação das redes AMPS. O TDMA IS-136 usa canais AMPS, possibilitando um aumento de capacidade, comparado aos sistemas 1G, através da divisão dos canais em três slots.

⁴⁸ Fonte: <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/3gpp2/cdma2000-1xrtt-basics-tutorial.php>

⁴⁹ Fonte: <http://www.tech-faq.com/cdma-2000-1xrtt.html>

3.4.2.7. PDC

A Personal Digital Cellular ou Celular Digital pessoal foi exclusivamente utilizada no Japão, onde foi introduzida em 1994. Era baseada na tecnologia de acesso TDMA.

3.4.2.8. PHS

O Personal Handyphone System foi um sistema digital lançado no Japão em 1955 como uma alternativa barata ao sistema celular. Tinha mobilidade reduzida e sua área de cobertura não era abrangente.

3.4.3. Terceira Geração (3G)

A terceira geração representa um salto significativo em relação ao 2G. Proporciona taxas de dados muito mais elevadas, aumenta significativamente a capacidade de voz e dá suporte a serviços e aplicações avançadas, incluindo serviços de multimídia.

O trabalho de especificação do 3G começou no início dos anos 90, quando a ITU (Internacional Telecommunications Union – União Internacional de Telecomunicações) passou a solicitar propostas para os sistemas 3G (conhecido na época como IMT-2000) e a identificar as possíveis faixas do espectro que poderiam ser utilizadas. O objetivo da ITU era criar uma especificação harmonizada em nível mundial para a comunicação móvel, que facilitaria a interoperabilidade global e forneceria escala para baixar os custos de produção e, conseqüentemente, para as operadoras e usuários. Um dos aspectos mais interessantes das propostas foi a escolha do CDMA como a técnica de acesso preferida para a maioria dos sistemas de 3G, sendo inclusive proposta uma nova versão do CDMA, chamado Wideband CDMA (W-CDMA), ou CDMA de banda larga (GHOSH et al, 2010).

Este processo não padronizou uma tecnologia, mas sim um conjunto de requerimentos (ex: taxa de 2Mbps para usuários indoor e 384 kbps para outdoors).

3.4.3.1. WCDMA

O W-CDMA é um padrão de interface aérea ou de rádio, entre o terminal celular e a Estação Rádio Base (ERB). Foi padronizado pelo Release 99 do 3GPP em 1999, e é largamente utilizado em redes celulares ao redor do mundo como sucessor da rede de 2ª Geração GSM/GPRS. Na sua arquitetura de core de rede manteve o padrão com a sua predecessora, mas foi totalmente reformulada no que se refere à interface aérea, sendo uma de suas características a utilização de uma largura de banda de 5Mhz para operação. Esta tecnologia utiliza como método de múltiplo acesso o CDMA, com vários terminais compartilhando uma mesma banda de frequências, porém, utilizando códigos diferentes de espalhamento espectral.

Por utilizar o mesmo padrão do core da rede GSM/GPRS, cada terminal WCDMA pode acessar vários serviços diferentes ao mesmo tempo, combinando voz com serviços de internet, multimídia, e-mail e vídeo, no entanto com muito mais velocidade de transferência de dados.

3.4.3.2. HSPA

Na realidade é a combinação de duas tecnologias especificadas nos Releases 5 e 6 do 3GPP:

HSDPA - High Speed Downlink Packet Access - é uma tecnologia para melhorar a performance do link direto⁵⁰ do WCDMA e é parte do caminho evolucionário do 3G para a “família” GSM de tecnologias, o que também permite que os usuários utilizem seus aparelhos em diversos países. Este caminho bem definido resulta em taxas de transmissão ainda maiores, melhor eficiência espectral e maior capacidade para operadoras GSM. Para os usuários, HSDPA oferece um mundo de serviços multimídia de banda larga. O HSDPA é parte do Release 5 do 3GPP e proporciona taxas maiores de transmissão de dados com pico teórico de até 14.4Mb/s de download – juntamente com a melhoria da eficiência espectral, resulta em um menor custo por bit transmitido (3G AMERICAS, 2007).

HSUPA - High Speed Uplink Packet Access - avanços na performance do link reverso (do terminal para a BTS). Constitui parte do Release 6 das especificações do 3GPP e o HSUPA, responsável por aumentar dramaticamente

⁵⁰ Link Direto – transmissão no sentido do terminal para a Estação de rádio base.

a velocidade de uplink de dados sobre o Release 99 do 3GPP, o WCDMA. Considerando que HSDPA otimiza o desempenho do downlink, o HSUPA representa um conjunto de melhorias que otimiza o desempenho do uplink. Redes e dispositivos que suportam HSUPA se tornaram disponíveis em 2007 e apresentam melhorias que incluem velocidades de download/upload de dados mais elevadas, menor latência, e maior eficiência espectral. O HSUPA pode chegar a velocidades teóricas de download de 5,76Mbps (3G AMERICAS, 2007).

3.4.3.3. HSPA+

HSPA+ é o nome do conjunto de melhorias do HSPA definidas no 3GPP Release 7 e nos releases seguintes. Apresenta-se como uma evolução natural e mais econômica do HSPA, permitindo que operadoras que já possuem o HSPA implantado façam reuso de sua planta de rede, espectro e dispositivos devido à compatibilidade entre os dois sistemas. Graças ao aumento de três vezes na capacidade de voz e de duas vezes na capacidade de dados, o HSPA+ diminui o custo de fornecimento de serviços de voz e dados, permitindo que as operadoras ofereçam banda larga móvel a um custo ainda mais baixo.

O HSPA+ pode ser a solução mais adequada para uma operadora com pouca disponibilidade de espectro de frequência, pois oferece alta capacidade de voz e dados (Downlink de 42 Mbps Uplink de 11,5 Mbps) em um bloco de 5MHz e com a mesma quantidade de antenas que o LTE utilizaria. (QUALCOMM, 2007)

3.4.3.4. EVDO

Padrão de 3ª Geração para sistemas celulares baseados em CDMA IS-95. Seu nome é um acrônimo formado por letras de nome: “Evolution Data Only”. Fornecia a seus usuários downloads de 2,4Mbps e uploads de 153kbps, mas, por volta de 2006, já estava oferecendo de 3,1Mbps e uploads de 1,8Mbps para a mesma banda de 1,25Mhz. Para os usuários do CDMA foi uma grande evolução, pois, através de um modem e da utilização da interface aérea com mobilidade, conseguiam acesso à internet de alta velocidade, comparada à rede cabeada da época.

3.4.3.5. LTE

Long Term Evolution é o padrão global desenvolvido pelo 3GPP (3rd Generation Partnership Project) como evolução natural das tecnologias 3G atuais, como pode ser visualizado na Figura 20. Além de poder ser integrado ao núcleo da rede GSM e HSDPA, oferece capacidade e alta taxa de transmissão para poder manipular a alta demanda por banda que os usuários estão requerendo.

Segundo estimativas do 4G Americas, em 2016 serão aproximadamente 4,5 bilhões de dispositivos móveis de alta velocidade ao redor do Globo (4G AMERICAS, nov.2011), dos quais 600 milhões já serão LTE.

Os terminais LTE já terão endereçamento IP válido na internet, e a comunicação poderá ser fim-a-fim sobre pacotes de dados com velocidades que poderão chegar a 150Mbps. Farão comunicação totalmente em IP (Full IP⁵¹), tanto para dados como para voz.

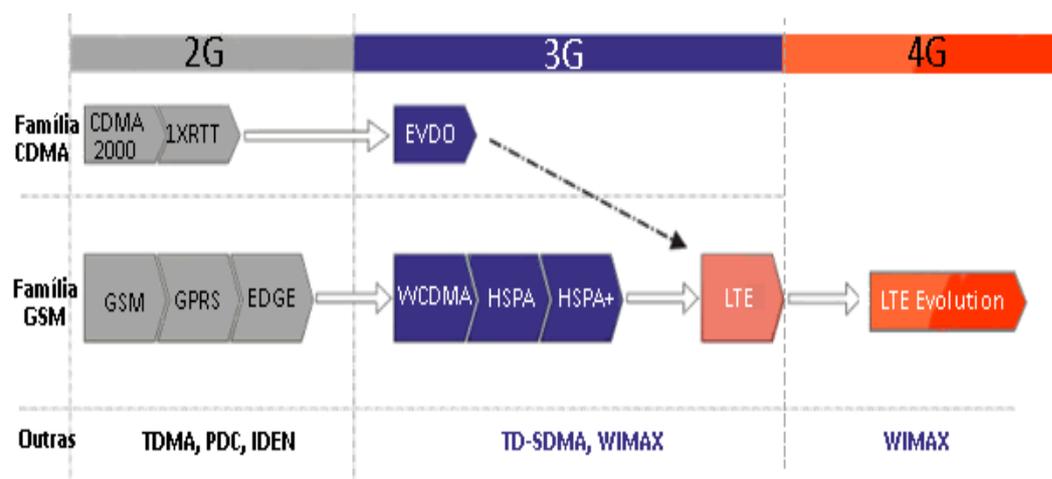


Figura 20 - Convergência de tecnologias
Fonte: <http://www.teleco.com.br/lte.asp>

3.4.4. Quarta Geração (4G)

Conforme já comentado e observado na Figura 20, existe previsão para uma 4ª Geração de telefonia móvel. O trabalho já está em andamento visando

⁵¹ Full IP – jargão técnico utilizado para referenciar comunicação onde todo tipo de informação é transportada em cima de pacotes IP (Internet Protocol), seja ela voz ou dados. Atualmente a voz é transportada em cima de circuitos de voz onde durante todo o tempo da conversação o caminho estabelecido não é alterado e é exclusivo para aquela chamada. Essa situação é diferente do transporte de voz no formato de dados, onde a conversa é digitalizada, codificada, empacotada e depois endereçada, no entanto, o caminho percorrido pelos pacotes pode ser diferente para cada um deles.

desenvolver sistemas capazes de evoluir o LTE (3G) para um sistema 4G. Embora seja comum encontrar referências ao LTE como um sistema 4G, a rigor, ele não atende aos requisitos estabelecidos pelo ITU para o padrão da quarta geração de telefonia sem fio (4G).

A definição da ITU de um sistema 4G, chamada IMT-Advanced, traça como objetivo uma taxa de pico de dados de 100Mbps para alta mobilidade e 1 Gbps para aplicações de mobilidade reduzida. Também estabelece requisitos para a eficiência espectral, latência e mobilidade. Para atender esses requisitos, pesquisadores e desenvolvedores de sistemas sem fio têm um grande desafio pela frente, encontrar dentro do espectro de frequências uma faixa com a largura de 100MHz, que possa atingir as taxas de transferências acima especificadas. Uma possível solução seria as faixas de 2.6GHz e 3.5GHz.

O organismo de padronização 3GPP possui um grupo que está investigando uma série de tecnologias para elaborar os requisitos que atendam ao 4G. Esse grupo de estudo está desenvolvendo a teoria do LTE-Advanced, que será proposta ao ITU como um padrão do IMT-Advanced.

3.4.5. Comparativo entre tecnologias de acesso

Através da Tabela 13 é possível visualizar a evolução das principais tecnologias de redes celulares, suas taxas de dados e suas gerações. Como pode ser observado a partir da tabela, as velocidades de transmissão a partir da 3ª Geração de telefonia móvel tornaram-se um atrativo para que os usuários adquirissem novos terminais aderentes às especificações das nova redes. Com isso, os usuários teriam a experiência de navegação na internet equivalente àquela obtida quando conectados por cabo. Ao final da 3ª e já entrando na 4ª Geração as velocidades estarão além dos 100mbps, o que já viabilizará a transmissão de vídeo de alta resolução⁵² e em tempo real.

À medida que se torna necessário liberar o espectro, para utilizar uma tecnologia de acesso mais moderna, e com melhor eficiência espectral, as tecnologias mais antigas vão sendo desligadas. Esse processo é realizado através da finalização das vendas de aparelhos com a tecnologia antiga e de incentivo à aquisição de terminais modernos, baseados nas novas redes.

⁵² Vídeo de alta resolução – High Definition 1280x720 a 30fps (frames per second), ou seja, a cada segundo, são 30 imagens demonstradas na tela.

Essa redução pode ser percebida para o GSM nas estimativas do gráfico da

Figura 21, onde o ápice da quantidade de assinantes que a utiliza ocorre em 2012, com 4,68 bilhões de assinantes no mundo. Enquanto isso tecnologias como o HSPA e o LTE vão tomando o espaço deixado pelo GSM e angariando mais assinaturas ao total.

Tabela 13 – As Gerações e a evolução das tecnologias

Geração	Início	Sistema	Banda por canal	Taxa de dados teórica máxima	Taxa de dados média
1ª	1983	AMPS	30Khz	somente voz	
2ª	1990	GSM	200KHz	9,6/13 kbps	9,6/13 kbps
2ª	±1995	GSM - GPRS	200KHz	170 Kbps (8slots)	48 Kpbs
2ª		GSM - EDGE	200KHz	384 Kbps (DL)	DL:230 kbps UL:64 kbps
2ª		TDMA IS-54/IS-136	30Khz	~ 12kbps	9.6kbps
2ª	1993	CDMA IS-95	1,25MHz	115kbps	<64kbps
3ª		CDMA - EVDO	1,25MHz	DL: 2.4 – 4.9Mbps UL: 800 – 1800kbps	DL:600 kbps UL:400 kbps
3ª	2006	W-CDMA (UMTS)	5Mhz	DL:2048 Mbps UL:384 kbps	DL:300 kbps UL:150 kbps
3ª	2008	W-CDMA (HSPA)	5Mhz	DL: 14.4 Mbps UL: 5,76 Mbps	
3ª	2009	HSPA+ (REL7)	5Mhz	DL: 28 Mbps UL: 11,5 Mbps	
3ª	2010	HSPA+ (REL8)	5Mhz	DL: 42 Mbps UL: 11,5 Mbps	
3ª	2011	HSPA+ (REL9)	10Mhz	DL: 84 Mbps UL: 23 Mbps	
3ª	2009	3GPP LTE	1.4, 3, 5, 10, 15, and 20MHz	DL: 150 Mbps UL: 75 Mbps	
4ª	??	LTE Advanced	100Mhz	>1Gbps	

Fonte: GHOSH (et al, 2010); www.teleco.com.br; www.gsma.com.

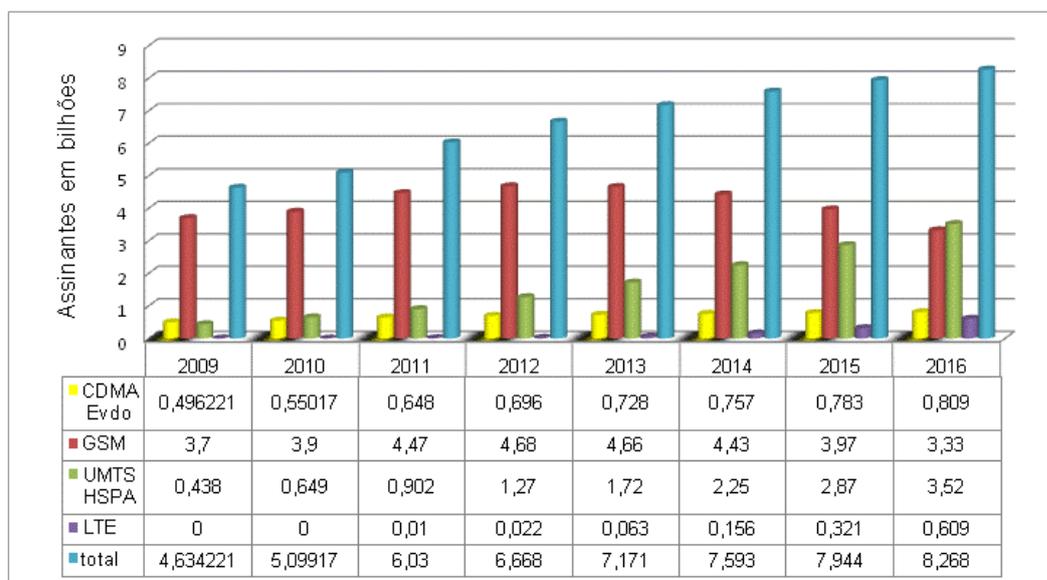


Figura 21 – Previsão da quantidade de assinantes por tecnologia de acesso no mundo até 2016.

Fonte: <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page&pageid=1781>; CDG, 2011

3.5. A história da telefonia celular no Brasil

A história da telefonia celular no Brasil começa a ser contada a partir de 1990, com a implantação da primeira rede celular brasileira no Rio de Janeiro, na antiga TELERJ, atualmente, 2012, parte da operadora de telefonia móvel VIVO. Na época foi utilizado o sistema de cobertura analógica AMPS, que perdurou até junho de 2010. Entretanto, o AMPS não ficou sozinho, em meados de 1998 foram iniciadas as atividades comerciais com o sistema TDMA e CDMA, aquele foi encerrado em fevereiro de 2011 e o último tem previsão de encerramento para 2012. Mas eles não ficaram sozinhos, Em 2002, com a entrada das operadoras Oi e TIM no mercado brasileiro, entrou também o GSM, tecnologia muito difundida no exterior e que, por esse motivo, oferecia diversos novos modelos de aparelhos com preços bastante acessíveis à população, por conta da economia de escala proporcionada pela enorme base de assinantes já existente, gerada principalmente pelo mercado europeu, que era, na época, todo GSM (TELEBRASIL, 2004).

Em 12 de dezembro de 2000 a Telesp Celular, hoje, 2012, integrada à VIVO, iniciou a primeira operação comercial de uma rede de 3ª Geração. Baseada no CDMA1x, era utilizada apenas para a transmissão de dados e está sendo desativada, em 2012, com o objetivo de liberar partes do espectro de frequência para que sejam levantadas as novas portadoras que irão utilizar o

WCDMA. Este, por sua vez, é o novo padrão de telefonia móvel celular e o que mais cresce comercialmente. A primeira rede comercial brasileira, baseada em WCDMA, foi ativada em junho de 2008 na CTBC Celular.

A evolução da utilização das tecnologias de acesso no território brasileiro, a partir de 2000, pode ser verificada no gráfico da Figura 22, baseado nas informações disponibilizadas no site da ANATEL.

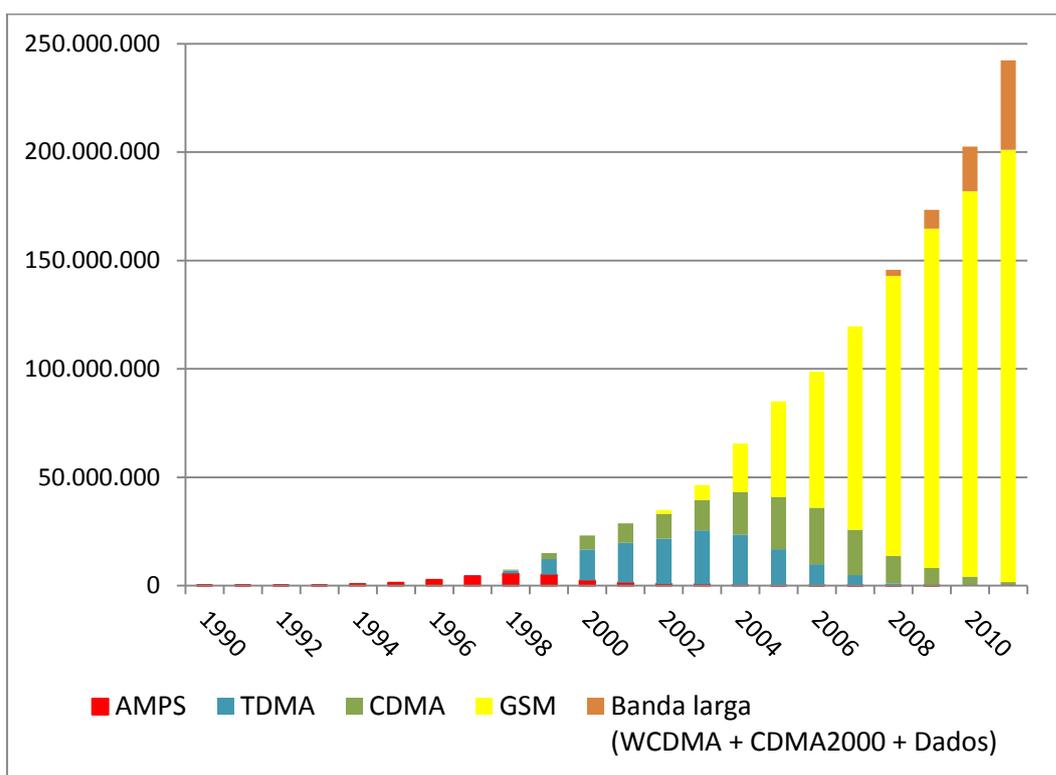


Figura 22 - Gráfico de evolução do uso das tecnologias no Brasil

No final de 2011 o Brasil ultrapassou a marca de 240 milhões de linhas de telefonia celular, para uma população de aproximadamente 190 milhões, conforme censo preliminar do IBGE. Com isso o Brasil atingiu um índice de penetração de celulares ativos, pouco além dos 100%, mas aumentando.

Por ser um mercado com um potencial elevado, em meados de 2003 a quantidade de linhas móveis ultrapassava a quantidade de linhas fixas. No final daquele ano já eram 46,4 milhões de linhas da rede móvel e 39,2 milhões de assinantes na rede fixa. No entanto, ainda existia uma grande demanda reprimida pelos anos de atraso que as telecomunicações brasileiras sofreram antes das privatizações, em 1997, e a quantidade de linhas vendidas não parou de crescer nos anos vindouros e a uma taxa muito superior à da população brasileira. Como pode ser observado na Figura 23, abaixo.

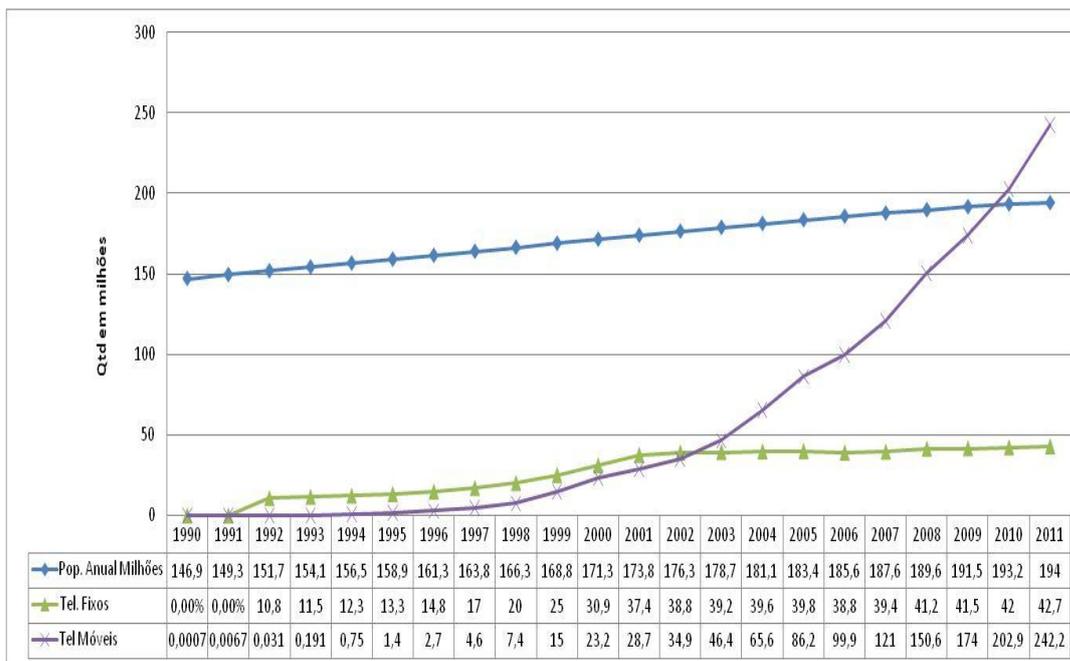


Figura 23 - Comparativo entre o crescimento populacional e o volume de linhas fixas e móveis desde o início de operação dessas últimas.

Fonte: (IBGE e ANATEL)

3.6. Conclusão

Conhecer um pouco da história da telefonia móvel e dos passos que ela já deu é importante nesse trabalho para demonstrar ao leitor a diversidade de tecnologias já empregadas e de mudanças que foram necessárias para atender aos bilhões de usuários da telefonia móvel celular ao redor do globo.

Alguns dos pontos chave dessas mudanças, como as diferentes frequências, tecnologias de acesso e sistemas de telecomunicações utilizados pelas operadoras, indicam a necessidade de troca de terminais para os usuários e, de uma maneira compreensível, confirmam parte da obsolescência programada dos aparelhos.

Somente a evolução da telefonia móvel é capaz de atender à demanda com qualidade e com maiores bandas de transmissão de dados. No entanto, essa evolução tem um preço, a troca dos equipamentos tanto de usuários como os da rede que dão suporte à telefonia móvel. Para a fabricação desses novos equipamentos, tanto os telefones quanto as novas redes que os suportam, é exigida uma enorme quantidade de matéria-prima retirada da natureza. No entanto, ela poderia muito bem vir da reciclagem de seus predecessores.

4 TELEFONES MÓVEIS

Um telefone móvel, às vezes chamado de telefone celular ou terminal móvel, é um pequeno, incrementado e sofisticado rádio pessoal de duas vias. Ele envia e recebe sinais de rádio simultaneamente, carregando a voz e dados em comunicações entre terminais e outros dispositivos. Serve não apenas como um objeto de comodidade pessoal ou como uma linha adicional ao serviço prestado pelas operadoras fixas, mas também atende a uma função social, como principal forma de comunicação aonde a infraestrutura de telecomunicação para telefones fixos não chega (UNEP/BASEL, 2011).

4.1. Telefones móveis como parte dos REEE

Telefone celular, no final de sua vida útil, representa o que há de resíduo mais valioso, em termos de massa e volume, encontrado nos REEE (HESTER & HARRISON, 2009) e é uma considerável fonte de metais. Mais do que em outros resíduos eletroeletrônicos, possui uma alta concentração de metais preciosos como ouro, prata, cobre e paládio, sendo que apenas uma pequena parte desse material chega a ser reciclada em plantas industriais modernas. A maior parte ou não é reciclada ou vai parar em lixões e aterros sanitários, sem um descarte ambientalmente correto. E as razões para isso, dentre outras, são:

- Alguns telefones jazem inúteis em gavetas e armários, devido ao fato de consumidores estarem desmotivados ou sem opções, de encaminhá-los à reciclagem, ou por desleixo, não as quererem encaminhar. Conforme SULLIVAN (2006), o número de telefones obsoletos guardados em gavetas e armários nos lares dos Estados Unidos, até o ano de 2005, era estimado em 500 milhões de unidades;
- Alguns são recolhidos, mas acabam sendo reciclados nas operações realizadas em fundo de quintal e com capacidade técnica limitada, dentro países como China, Índia e alguns Africanos (BOLLINGER, 2010).

O tamanho cada vez menor dos aparelhos celulares facilita a prática de armazenamento dos equipamentos obsoletos em gavetas e armários por tempo indefinido, embora seja discutível se essa prática pode ou não ser considerada como uma eliminação de material, no que diz respeito ao seu impacto sobre a quantidade de metais conservados, uma vez que esse material sai de circulação e não há garantia de que um dia será encaminhado para reciclagem (BOLLINGER, 2010).

A frequente troca de tecnologias, o modismo e a voracidade da população por novidades frente introdução de novidades como câmeras, GPS, acesso a dados sem fio, e muitos outros, acabam reduzindo o tempo de vida útil dos aparelhos que se tornam obsoletos em pouco mais de um ano.

O descarte dos celulares constitui uma grande preocupação para os ambientalistas. As vendas mundiais de celulares saltaram de pouco mais de 100 milhões de unidades por ano em 1997, para 779 milhões em 2005, e as estimativas são de que cheguem a um bilhão de unidades vendidas em 2009 (SULLIVAN, 2006). Já as linhas telefônicas, nas quais esses aparelhos serão utilizados, serão mais de seis bilhões em 2011, e segundo estimativas do GSMA, em parceria com a Wireless Association, serão quase oito bilhões em 2015 (GSMA, 2012), conforme pode ser observado no gráfico abaixo da Figura 24.



Figura 24 - Crescimento global da quantidade de linhas de telefonia móvel celular
Fonte: GSMA, 2012 em associação com a Wireless Association.

4.2. A evolução do Terminal

Com a evolução dos terminais inúmeras funções foram sendo introduzidas pelos fabricantes como meio de atrair os usuários a continuar comprando novos aparelhos. Como pode ser observado na Figura 25 (ABINEE, 2011), conforme os anos foram passando, os pequenos dispositivos foram se tornando cada vez mais sofisticados e, por conseguinte, sua complexidade eletrônica ficou maior. Em 1984 era apenas voz; em 1994 já existiam os serviços de mensagens curtas; a partir de 2004 os fabricantes passaram a embarcar, nos dispositivos, tecnologias sofisticadas como o Bluetooth, câmeras fotográficas e de gravação de vídeo, tocadores de música e acesso a rede de dados, etc. A evolução continuou e ainda surgiram os GPS's integrados, os navegadores de internet e o IPTV.

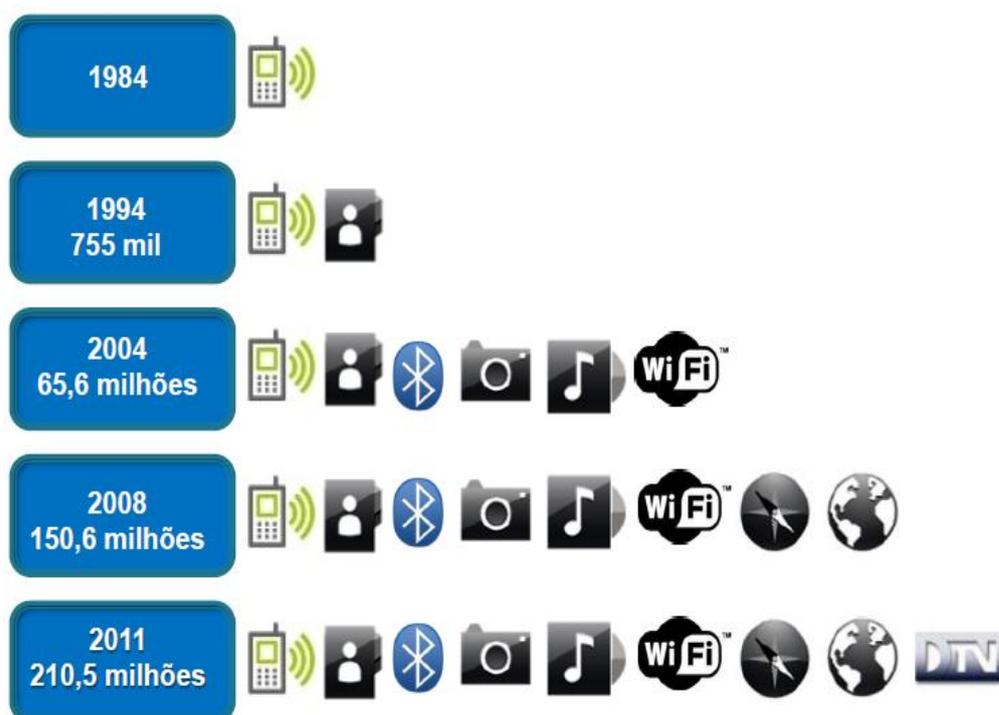


Figura 25 - Evolução de terminais de acordo com as funcionalidades embarcadas
Fonte: ABINEE, maio 2011

Nos aparelhos de primeira geração, era possível enviar apenas voz através de canais de áudio. Uma pequena evolução na rede e nos terminais possibilitou o desenvolvimento dos primeiros aparelhos com capacidade de enviar SMS (Short Message Service ou Serviço de Mensagens Curtas), que apareceram pela primeira vez na Europa em 1992 juntamente com o padrão

GSM, através da padronização do ETSI-1992⁵³. A miniaturização dos componentes eletrônicos e a elaboração de rotinas mais precisas para os microprocessadores possibilitaram a introdução de novas funções nos terminais. Com isso, as recentes tecnologias de câmeras fotográficas, filmadoras digitais, mp3 players, Bluetooth e Wi-Fi, foram sendo introduzidas nos aparelhos celulares mais avançados à época. Os usuários perceberam a utilidade que essas novas facilidades agregavam aos aparelhos, o que provocou uma demanda por aparelhos mais caros. Com a grande procura por novas funcionalidades, os fabricantes as estenderam aos dispositivos de menor valor e introduziram novos chamarizes como: internet de alta velocidade, GPS (Global Position System), TV digital (Direct TV) e novos tipos de aparelhos como Smart Phones⁵⁴ e Tablets⁵⁵, com capacidade de conexões via internet de alta velocidade pela rede 3G, simultaneamente com Wi-Fi. Associado a isso, ainda foram desenvolvidos aplicativos para esses terminais, que permitiram ligações para rede de telefonia pública utilizando aplicativos VOIP (Voice over IP), como o SKYPE e o Fring.

Devido à aglutinação de funções dentro das pastilhas de circuito impresso, a miniaturização dos equipamentos eletrônicos nos forçaria a pensar que isso reduziria o volume do total de REEE produzidos. No entanto, não foi o que ocorreu. Conforme estudos de RODRIGUES (2007), a miniaturização dos aparelhos é geralmente contraposta pelo crescimento do número de aparelhos produzidos. E enquanto o peso das unidades de celulares produzidas reduziu por um fator de 4,4 entre 1990 e 2005, passando de 350g para 80g, o aumento no número de aparelhos produzidos multiplicou a massa total por 8,0. Além disso, o acúmulo de funções em CI's barateou o preço de produção, desencadeando uma demanda maior, e que tem ajudado a neutralizar o efeito da miniaturização em termos de fluxo de massa.

⁵³ Fonte: <http://www.developershome.com/sms/smsIntro.asp>

⁵⁴ Os Smartphones são uma evolução dos PDA's – *personal digital assistant* – que eram dispositivos móveis pessoais com softwares embarcados capazes de possibilitar o gerenciamento da vida pessoal de seus donos. Possuíam agendas para telefones, gerenciadores de tarefas, leitores de arquivos de diversos formatos e, os mais avançados, navegação na internet via Wi-Fi. Em 1996 a Nokia criou o primeiro telefone com as funções de um PDA embarcadas, também chamado de PDA phone. Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/PDA>.

⁵⁵ Tablets são menores que um laptop e maiores que um Smartphone, no entanto, possuem maior capacidade de processamento e maior quantidade de memória do que esse último. Isso possibilita que ele disponibilize para seu usuário praticamente as mesmas funções de um laptop além das conexões com a internet via wi-fi ou redes celulares. Fonte: <http://www.staplesadvantage.com/tablet/choosing-a-tablet-tablet-what-is-it.html>.

4.3. Mercado brasileiro de celulares

Em 2010, a fabricação nacional de terminais celulares foi de 61 milhões de unidades, sendo que 48 milhões foram vendidos no mercado interno e 13,2 milhões para a exportação. Apesar desse número expressivo de vendas da produção no mercado interno, ainda foi necessária a importação de 7,2 milhões de unidades (ABINEE, 2011).

Segundo dados da ANATEL, demonstrados na Figura 22 - Gráfico de evolução do uso das tecnologias no Brasil, existiam no Brasil 174 milhões de terminais ativos no final de 2009 e no final de 2010 eram 202,9 milhões. Desses valores é possível verificar que houve um acréscimo de 28,9 milhões de linhas durante o ano de 2010 e que o ritmo de crescimento da base de assinantes não perdeu fôlego, mesmo ultrapassando a marca de uma linha para cada habitante.

No entanto, como já foi dito, foram vendidos ao mercado interno 48 milhões de telefones, e foram importados, oficialmente⁵⁶, outros 7,2 milhões, o que nos dá 55,2 milhões de novos aparelhos no mercado. Mas, em 2010, somente foram vendidas 28,9 milhões de novas linhas. Com isso dá pra se inferir que 26,3 milhões de aparelhos foram utilizados para repor outros que se tornaram obsoletos de alguma forma.

Esses dados podem ser nitidamente visualizados na Tabela 14 que representa, com base nos dados de relatórios da ABINEE de 2009 e 2011, a produção e venda de celulares no Brasil durante a última década, como também as quantidades de aparelhos importados e exportados. Ainda na mesma tabela, são cruzadas aquelas informações com as quantidades de linhas ativas durante os mesmos anos⁵⁷ e os pesos estimados dos aparelhos⁵⁸, de modo a se ter uma aproximação da quantidade de lixo eletrônico que o mercado de telefonia móvel celular gerou no Brasil durante os anos em questão.

⁵⁶ Como pode ser lido no item 4.3.1.2, aproximadamente 20% da base de assinantes no Brasil utiliza aparelhos não homologados pela ANATEL.

⁵⁷ Fonte: <http://www.anatel.gov.br>

⁵⁸ Fonte: <http://www.epa.gov>; <http://www.gsmarena.com>

Tabela 14 - Mercado brasileiro de celulares de 2001 a 2010, em milhões de unidades.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Total
Produção Nacional*	16,60	28,10	27,00	42,00	65,00	66,00	68,00	72,60	62,30	61,20	508,80
Produção vendas internas*	9,00	17,00	15,00	32,00	32,00	34,00	45,00	48,00	46,00	48,00	326,00
Exportações*	7,60	11,10	12,00	10,00	33,00	32,00	23,00	24,60	16,39	13,20	182,80
Importações*	0,19	0,30	1,40	1,30	4,60	3,10	4,70	7,10	4,00	7,20	33,89
Celulares em Serviço**	28,70	34,80	46,40	65,60	86,20	100,00	122,80	144,80	174,00	203,00	
Novas Linhas	5,50	6,10	11,60	19,20	20,60	13,80	22,80	22,00	29,20	29,00	179,80
Troca de celulares	3,69	11,20	4,80	14,10	16,00	23,30	26,90	33,10	20,80	26,20	180,09
Peso Médio dos celulares (g)***	161,81	149,37	136,93	124,50	113,40	99,79	99,79	106,00	116,00	118,00	
Sucata de celulares (ton x 1000)	0,596	1,672	0,657	1,755	1,814	2,325	2,684	3,508	2,412	3,091	20,519

Fonte: * ABINEE, 2011; ** ANATEL; *** www.gsmarena.com

4.3.1. Outros fatores que aumentam a troca de aparelhos dentro do mercado brasileiro.

4.3.1.1. *Churn*⁵⁹ e a portabilidade

Até o final do ano de 2011, eram quatro operadoras de telefonia celular com abrangência nacional (VIVO, TIM, Claro e Oi) tornavam acirrada a competição por novos clientes e pelos das concorrentes. Atualmente as operadoras, na disputa pela preferência dos novos clientes e manutenção dos atuais, oferecem planos de serviço, programas de fidelidade utilizando como atrativo a troca dos aparelhos antigos por aparelhos novos, através de ofertas, muitas vezes sem custo, ou a preço reduzido. Mesmo assim, os clientes solicitam a troca entre operadoras e o *churn* acontece principalmente depois que as operadoras colocaram em prática, por imposição da ANATEL, a possibilidade de efetuar a portabilidade⁶⁰ do número que o assinante utiliza de uma operadora

⁵⁹ Churn - termo usado para descrever a taxa de giro de assinantes de um serviço ou produto entre operadoras de telefonia móvel.

⁶⁰ Portabilidade - É o termo usado para descrever a possibilidade dos usuários, sejam eles indivíduos ou organizações, de reter seus números telefônicos quando mudam para um novo provedor de serviço telefônico local.

para outra. Este percentual de assinantes trocando entre operadoras no Brasil pode ser acompanhado no Tabela 15.

Tabela 15 - Churn entre as operadoras móveis no Brasil

	1T10	2T10	3T10	4T10	1T11	2T11	3T11	4T11
Churn Brasil(%)	3,00%	3,10%	3,40%	3,10%	3,20%	3,80%	3,70%	3,50%

Fonte: www.teleco.com.br/opcelular.asp

A ocorrência de churn entre operadoras significa que o aparelho do usuário terá que passar a escanear uma frequência diferente, para que ele possa se registrar na nova operadora. Esse é mais um fator de troca de aparelhos. Para trabalhar em mais de uma operadora os aparelhos precisam operar em três ou quatro bandas de frequência diferentes. E essa funcionalidade somente os aparelhos de mais alta gama possuem.

4.3.1.2. Bloqueio de aparelhos clandestinos – mais demanda por novos aparelhos

Recentemente, os fabricantes brasileiros de telefones celulares têm solicitado à ANATEL, que sejam bloqueados os aparelhos não homologados pelo órgão. Segundo eles, a perda anual é de um bilhão de reais - ou 20% das vendas de aparelhos originais (WIZIACK & FUSCO, 2011). Conforme publicado no site da Folha de São Paulo⁶¹, aproximadamente 20% da base de assinantes (levantamento conjunto entre a ANATEL e as operadoras) no Brasil utiliza celulares não homologados pela ANATEL; isso equivaleria a cerca de 45 milhões de unidades, segundo a quantidade de linhas ativas informadas pela ANATEL para dezembro de 2011.

A Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997 (Lei Geral das Telecomunicações), bem como a Resolução nº 477 de 7 de agosto de 2007 (Regulamento do Serviço Móvel Pessoal), preveem vedação à conexão destes terminais não certificados, cabendo ao órgão regulador a fiscalização desta medida, como pode ser lido abaixo.

Art. 162. A operação de estação transmissora de radiocomunicação está sujeita à licença de funcionamento prévia e à **fiscalização permanente**³, nos termos da regulamentação.

(...)

§2º É vedada a utilização de equipamentos emissores de radiofrequência sem certificação expedida ou aceita pela Agência.

Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997.

⁶¹ Fonte: <http://www.folha.com.br> (14-02-2012)

Art. 8º Constituem deveres dos Usuários do SMP:

(...)

IV - somente fazer uso de Estação Móvel que possua certificação expedida ou aceita pela Anatel;

V - manter a Estação Móvel dentro das especificações técnicas segundo as quais foi certificada;

Art. 10. Além das outras obrigações decorrentes da regulamentação editada pela Anatel e aplicáveis a serviços de telecomunicações e, especialmente, ao SMP, constituem deveres da prestadora:

(...)

IV - utilizar somente equipamentos cuja certificação seja expedida ou aceita pela Anatel;

V - somente ativar⁵ Estações Móveis com certificação expedida ou aceita pela Anatel;

(...)

Resolução nº 477, de 7 de agosto de 2007

Da leitura dos artigos apresentados acima e analisando o pedido dos fabricantes, é muito provável que a ANATEL vá procurar um meio de impedir o uso, nas redes de telefonia móvel brasileira, dos aparelhos que vieram clandestinamente para o Brasil. Esse episódio provocará dois problemas: demanda repentina por novos aparelhos para substituir os que foram bloqueados e conseqüente formação de grande volume de REEE que poderá ultrapassar as 4500 toneladas, considerando o peso de um terminal de 0,1kg e a quantidade de aparelhos clandestinos informada, em dezembro de 2011 (45 milhões de aparelhos).

4.3.1.3. MVNO's

MVNO (Mobile Virtual Network Operator) é um operador móvel, sem sua própria licença para uso de frequências, e que contrata de uma Operadora Autorizada parte ou toda a estrutura de rede necessária para sua operação. Em geral, MVNOs têm acordos comerciais com operadoras móveis tradicionais, que compram minutos de uso, vendendo-os aos seus usuários finais.

Seguindo tendências mundiais, a ANATEL publicou a Resolução nº 550 de 22 de novembro de 2010, que trata da exploração do SMP⁶² por parte de outras entidades que não as Operadoras Autorizadas, que já possuem licença de uso de radiofrequências. Conforme a Consulta Pública nº 50/2009 da Agência Reguladora, os objetivos a serem atendidos com a regulamentação das MVNO's são:

- Permitir novos modelos de negócio e ampliar a competição no mercado de telefonia móvel celular;

⁶² SMP – Serviço Móvel Pessoal

- Permitir a oferta de serviços por entidades que não detêm autorização de uso de radiofrequência;
- Atender nichos de mercado;
- Criar mercado de atacado para o SMP;

Dos objetivos citados acima, pode-se inferir que haverá uma nova fase de troca de aparelhos ou aquisição de novas linhas por parte da população, incentivada pelas novas ofertas, que certamente surgirão no mercado, criadas por MVNO's prontas para atender a determinados segmentos já cobertos no exterior. Como exemplo, é possível citar a criação de MVNO's por redes varejistas, como o Carrefour e FNAC, e por empresas de mídia como a Virgin e a Universal.

4.3.2. Fabricantes de terminais e operadoras de telefonia presentes no território brasileiro e seus programas de reciclagem

Em novembro de 2007, no Encontro Nacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, SOUZA et al (2007), apresentou um estudo relativo à estratégia de alguns fabricantes de celulares instalados no Brasil, frente às necessidades de reciclagem de baterias e os canais de logística reversa necessários para devolução das baterias às suas origens. A seguir encontram-se informações, sobre alguns desses fabricantes comparadas à realidade atual. Além disso, são comentadas algumas práticas realizadas por operadoras de telefonia móvel celular relativas à coleta e destinação correta de terminais móveis celulares.

4.3.2.1. Fabricantes de terminais e suas políticas de reciclagem

Muitos fabricantes de terminais celulares e outros eletrônicos instalados no Brasil possuem políticas de recolhimento do lixo eletrônico para minimizar os impactos que poderiam ser causados ao meio ambiente e à saúde pública. Dessa forma pretendem aumentar a probabilidade de reciclagem de seus produtos e melhorar sua imagem perante a sociedade, conforme se verifica abaixo.

4.3.2.1.1. Gradiente

Conforme mencionado por SOUZA et al (2007), a Gradiente desenvolveu um programa de reciclagem iniciado através de coletas realizadas em pontos de vendas e na sua rede de assistência técnica.

No entanto, atualmente, não foram encontrados registros que indicassem que o sistema de coletas da Gradiente esteja sendo mantido, nem mesmo há informações no site do fabricante sobre a produção de aparelhos celulares, apesar de continuar fabricando outros tipos de equipamentos eletrônicos.

A falta de dados sobre processos de reciclagem da Gradiente é um forte indicativo de que qualquer aparelho celular, ou outro eletrônico qualquer fabricado por ela, não possui um programa de reciclagem,

4.3.2.1.2. Nokia

Um dos fabricantes de telefones celulares que apresentou maior variedade de aparelhos durante a ascensão da telefonia móvel é a Nokia. Com extensa gama de modelos, conseguiu atingir uma grande variedade de perfis de consumidores em diversas classes sociais.

Seu endereço eletrônico⁶³ no Brasil, apesar de pouco intuitivo, é bastante completo em relação a incentivar que seus clientes enviem seus aparelhos para a reciclagem de modo seguro, inclusive quanto à remoção de informações pessoais contidas nos aparelhos.

Através do programa “We:recycle” a Nokia disponibiliza pontos de coleta de aparelhos no final de sua vida útil em diversas cidades brasileiras. Além disso, a Nokia indica outras formas de enviar o aparelho para reciclagem, como a utilização dos Correios ou a disponibilização de um número telefônico gratuito para contato e posterior coleta.

4.3.2.1.3. Samsung

A sul-coreana Samsung iniciou suas operações no Brasil em dezembro de 1986 e desde março de 1999 opera em Manaus uma unidade fabril que produz aparelhos celulares com a sua marca para o mercado nacional e para

⁶³ Fonte: <http://www.nokia.com/br-pt/suporte/reciclagem/>

exportação. Além disso, a empresa produz diversos outros tipos de eletrônicos, como: televisores, tablets, laptops e home theaters.

Em seu site no Brasil, a Samsung informa que possui um programa de compromissos chamado “Planet First”. Através dele pretende “proporcionar uma experiência mais ecológica por meio de produtos, soluções e tecnologias de menor impacto ambiental que beneficiem as vidas de seus clientes e respeitem o nosso planeta”. Entretanto, no site brasileiro, não mostram ações práticas que adotam para reciclar os eletrônicos que colocam no mercado.

4.3.2.1.4. LG

A LG é outra empresa sul-coreana instalada no Brasil, com capacidade para produção de diversos tipos de eletroeletrônicos. Em sua linha de produção encontram-se produtos como condicionadores de ar condicionado, displays de plasma, dispositivos ópticos, DVD players, home theaters e telefones celulares.

Para seus clientes, a LG disponibiliza um telefone de contato, que lhes permite obter informações sobre o endereço de suas assistências técnicas, onde é possível depositar terminais e acessórios fabricados pela própria LG ou por outros fabricantes.

4.3.2.1.5. Motorola

A Motorola, em 1996, iniciou o processo para a construção de sua base industrial na América do Sul, sendo que seus maiores investimentos foram destinados à construção do Campus Industrial e Tecnológico de Jaguariúna (SP), onde abriga todas as atuais operações industriais da empresa (celulares rádios bidirecionais, estações de rádio base para rede celular, entre outros).

Conforme a página da Motorola na internet, somente até 2011 foram coletados 400 toneladas de sucata eletrônica através de seu programa ECOMOTO, que é uma ação ambiental adotada mundialmente pela empresa. Esse material é composto por celulares, rádios e acessórios que foram coletados através de sua rede de serviços autorizados.

Dados publicados pela Motorola, na Revista Razão Social, do jornal O Globo, do dia 5 de julho de 2011, demonstram que apesar do nobre esforço da empresa, a baixa taxa de reciclagem em relação a esses aparelhos é um fato.

Desde o início das operações da Motorola no Brasil, foram vendidos 145 milhões de terminais celulares no mercado interno; no entanto, em seu programa de reciclagem, a empresa informa que reciclou até 2010 aproximadamente 400 toneladas de aparelhos. Baseado nesse valor e no quanto pesa em média um celular, 118g para o ano de 2010, conforme a Tabela 14, observa-se que a Motorola, apesar de sua ótima iniciativa, reciclou pouco menos de 3,4 milhões de celulares, que, comparados à quantidade de aparelhos que ela colocou no mercado, não chegam a 5% do total.

4.3.2.2. Operadoras de telefonia móvel celular e suas ações para reciclagem

4.3.2.2.1. Claro

A Claro, subsidiária da América Móvil (mexicana) no Brasil, opera a telefonia móvel em todo o território brasileiro desde abril de 2009. Atualmente tem uma base de clientes de aproximadamente 65 milhões de assinantes.

Em março de 2008 lançou o programa Claro Recicla⁶⁴ com o objetivo de destinar corretamente o lixo eletrônico, especialmente os celulares, as baterias e os acessórios fora de uso. Através de seu programa, disponibiliza mais de 2.000 pontos de coleta em suas lojas e distribuidores, que podem ser utilizados por clientes ou não clientes que desejem descartar seus antigos telefones e acessórios.

4.3.2.2.2. VIVO

A VIVO⁶⁵ é uma empresa do grupo Telefonica de capital espanhol e com cobertura nacional desde 2009, quando disponibilizou sinal na região nordeste brasileira. Possui, em 2012, uma base com mais de 71 milhões de assinantes móveis.

Através do Programa “VIVO: Recicle seu Celular⁶⁶” reaproveita aparelhos celulares, aumentando-lhes o ciclo de vida, dando destinação adequada aos resíduos recicláveis provenientes dos terminais e ainda revertendo os recursos arrecadados em favor de projetos sociais.

⁶⁴ Fonte: <http://www.claro.com.br>

⁶⁵ Fonte: <http://www.vivo.com.br>

⁶⁶ Fonte: <http://www.vivoblog.com.br/resultados-do-programa-recicle-seu-celular.html>

Desde 1999, a VIVO oferecia, em algumas de suas próprias lojas e em pontos de venda, um programa de coleta de baterias usadas de celulares. Esse programa evoluiu, passou a coletar celulares, e em junho de 2008, comemorando o Dia Mundial do Meio Ambiente, foi levado a todas as lojas próprias, revendas exclusivas e sedes administrativas da Vivo.

4.3.2.2.3. TIM

A TIM é uma subsidiária da Telecom Itália, com cobertura nacional, consolidada em 2005 e com autorização para operar telefonia fixa. Possui atualmente 67 milhões de assinantes dentro do território nacional.

Através de parcerias e de programas como Recarregue o Planeta e Papa-Pilhas⁶⁷, a empresa realiza o tratamento e a destinação ecologicamente correta de celulares e baterias, coletados em seus prédios administrativos e lojas distribuídas por todo território nacional.

4.3.2.2.4. Sercomtel Celular

A Sercomtel é uma operadora regional que atende às cidades de Londrina e Tamarana, no Paraná. É controlada pela Prefeitura Municipal de Londrina e pela Companhia Paranaense de Energia (Copel).

Até maio de 2012 não informava em seu site na internet sobre qualquer ação em relação a reciclagem de telefones celulares.

4.3.2.2.5. CTBC

A CTBC Telecom, Companhia de Telecomunicações do Brasil Central, pertence ao grupo brasileiro Algar e tem como base de atuação a região do triângulo mineiro, Figura 26, onde controla a concessionária de telefonia fixa e a operadora de celular da Banda A.

⁶⁷ Fonte: <http://www.tim.com.br>

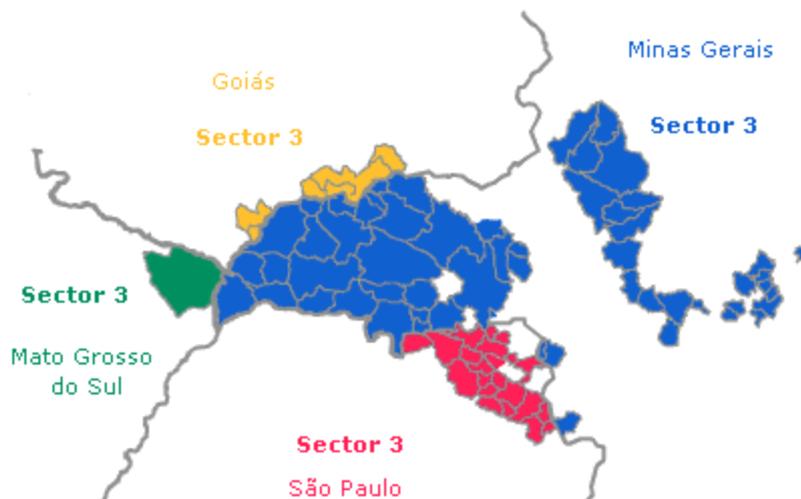


Figura 26 - Área de atuação da CTBC
 Fonte: <http://www.teleco.com.br>

A CTBC, em sua página na internet, indica preocupação com a sustentabilidade social, econômica e ambiental. No entanto, nada é comentado sobre iniciativas específicas para reciclagem de terminais celulares.

4.3.2.2.6. Oi

A Oi está presente em todo o território nacional como operadora fixa e móvel. Possuía uma base de aproximadamente 44 milhões de usuários móveis em dezembro de 2011.

A Oi disponibiliza, através de lojas próprias e parceiros, urnas coletoras em diversos pontos do país. Após o recolhimento das urnas, a destinação dos aparelhos para empresas de reciclagem, credenciadas por órgãos ambientais, é realizada por uma empresa de logística reversa especializada, a GM&C Logística.

4.4. Categorias de aparelhos encontrados no mercado

Quando a telefonia celular se iniciou, não era possível imaginar a quantidade de dispositivos que seriam criados para atender às novas necessidades. A fim de facilitar o trato com esses equipamentos, com o passar do tempo, foram surgindo algumas classificações em categorias. Elas seguem abaixo.

Feature phones

Feature phones são aparelhos de baixa gama ou de baixo valor; basicamente, telefones celulares comuns e com poucos recursos. O sistema operacional quase sempre é do próprio fabricante do terminal, não apresenta muitos aplicativos embarcados e dificilmente possibilita a instalação de outros. Pesquisas mais recentes mostram que alguns telefones dessa categoria começaram a oferecer recursos semelhantes aos dos smartphones, ou seja, a principal diferença entre os dois grupos deverá estar no suporte ao software de terceiros.

4.4.1. Smartphones

Não é qualquer telefone celular com capacidade de multimídia (voz, música, dados e/ou vídeo simultaneamente) que é considerado um smartphone. Há que se levar em conta a capacidade de processamento e o tipo de sistema operacional, que deve ser aberto⁶⁸ para interação dele com aplicativos de terceiros. Plataformas de sistemas operacionais padronizados⁶⁹ tornam essa interação possível e fornecem uma interface com o usuário semelhante, independente do fabricante do hardware. Devido aos processadores utilizados, sua capacidade de processamento se assemelha a de alguns computadores, podendo inclusive rodar várias aplicações ao mesmo tempo.

Smartphones geralmente possuem telas grandes, teclados QWERTY e têm um alto valor de mercado.

Os primeiros smartphones eram dispositivos que combinavam as funções de um assistente pessoal de dados (os antigos Palmtops), com um celular. Os modelos atuais combinam muitas outras funções, como GPS's, câmeras de fotografia/vídeo, e media players. Além disso, podem possuir telas sensíveis ao toque de alta resolução e acessar a internet pela rede celular, ou como cliente de uma rede Wi-fi. Podem ainda servir como modem através de suas interfaces USB, Bluetooth ou como um roteador Wi-fi.

⁶⁸ Sistemas operacionais abertos são distribuídos para que qualquer um desenvolva aplicativos compatíveis com a plataforma.

⁶⁹ Fonte: <http://www.gsmarena.com>

Os sistemas operacionais (OS) mais comuns utilizados em smartphones incluem: iOS da Apple; o Android, da Google; o Windows Phone da Microsoft; o Symbian da Nokia e o BlackBerry, da RIM OS, e distribuições de Linux⁷⁰ tais como Maemo e MeeGo. Esses sistemas operacionais podem ser instalados em diversos modelos de telefones diferentes, sendo que, cada dispositivo pode receber algumas atualizações do sistema operacional ao longo de sua vida, à medida em que os desenvolvedores vão lançando novas versões.

4.4.2. Tablets

Diferentemente dos laptops que se abrem e oferecem uma tela e um teclado para o usuário trabalhar, os tablets possuem apenas uma tela sensível ao toque. Através dela o usuário escolhe os aplicativos que deseja utilizar e pode projetar qualquer tipo de teclado necessário.

São relativamente recentes. Apesar de tentativas da Microsoft de abrir o mercado com o Microsoft Tablet PC⁷¹, em 2001, foi a Apple que realmente emplacou o produto no mercado em 2010.

Além de ter capacidade semelhante à maioria dos computadores residenciais, os tablets adquiridos a partir de 2011 incluem funções de navegação de Internet por Wi-fi, funções de telefone celular, navegação por GPS e funções de câmera de vídeo, pesam cerca de 1Kg e normalmente têm uma vida útil da bateria de três a 10 horas. De muitas maneiras, as funções e finalidades de laptops, tablets e smartphones estão se aproximando, principalmente nos dois últimos onde até os sistemas operacionais já são os mesmos, como é o caso dos aparelhos que utilizam o Android e o iOS.

4.4.3. Modems para redes celulares

Ao contrário de linha fixa, com modem 3G é possível se conectar à internet em qualquer lugar onde haja cobertura de sinal. Poderá não ser tão rápido como se estivesse utilizando a rede fixa, mas será útil, se o usuário tiver um estilo de vida que requeira mobilidade.

São divididos em dois tipos: modems PCMCIA e modems USB.

⁷⁰ Linux – sistema operacional desenvolvido por Linus Torvalds baseado no UNIX e destinado a ser utilizado em PC's. Fonte: <http://www.linuxfoundation.org/about/staff>

⁷¹ Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Tablet_PC

4.4.3.1. Modem PCMCIA

Também conhecido como Data Card, utiliza porta PCMCIA para ser conectado e, por isso, é muito limitada a sua utilização a equipamentos específicos como alguns laptops e roteadores com esse tipo de porta. Foram muito utilizados para permitir acesso à internet nas redes CDMA, como o da Figura 27 utilizado numa operadora brasileira.



Figura 27 - Yiso C893

4.4.3.2. Modem USB

Com a popularização das portas USB, os fabricantes de modems 3G passaram a utilizá-las, pois as mesmas proporcionavam maior compatibilidade para uso em laptops, desktops, roteadores e qualquer outro tipo de equipamento que permitisse a instalação de um aplicativo que servisse de interface para a comunicação dele com o modem. Um modelo desse tipo de modem pode ser visto na Figura 28.



Figura 28 – ZTE modelo MF100.

4.5. Principais Sistemas Operacionais

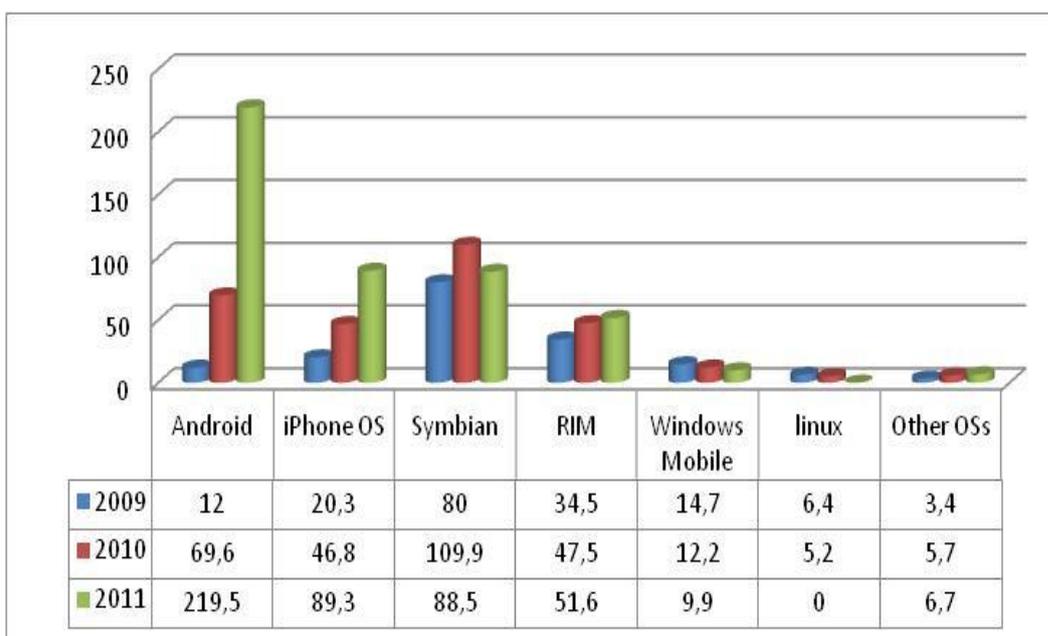
O sistema operacional (S.O.) de um terminal celular é um programa, ou uma coleção deles, que inicializa o hardware do aparelho e fornece as rotinas básicas para controle do dispositivo, como gerência do hardware, interação entre os aplicativos, coordenação de memória, prioridades de processamento, etc.

Na hora de escolher um novo aparelho, é preciso conhecer o básico sobre suas funcionalidades, vantagens, limitações e, obviamente, que aplicativos oferecem para que se possa optar por aquele que mais atende às necessidades e aos desejos do usuário. São também as diferenças entre os S.O. e as facilidades que cada um oferece que em geral acabam seduzindo os usuários a trocar de aparelho; algumas vezes, apenas porque o novo S.O. não é compatível com um hardware mais antigo, o usuário fica sem opção e se vê obrigado a comprar um novo aparelho.

Seguem alguns exemplos de sistemas operacionais mais empregados em smartphones, conforme o crescimento das vendas anuais descritas na Tabela 16, abaixo.

Tabela 16 - Volume anual de vendas (em milhões) de Sistemas Operacionais embarcados em telefones celulares

Fonte: <http://www.teleco.com.br>



4.5.1. Symbian

A maioria dos telefones produzidos pela Nokia possui o sistema operacional Symbian em uma de suas diversas versões, mas há outros fabricantes que utilizam essa plataforma em alguns de seus modelos, como a Motorola e a Sony-Ericsson⁷². Este sistema possui uma gama interessante de aplicativos para fins profissionais, porém o número de jogos disponíveis é bem limitado, se comparado ao iOS do iPhone, por exemplo.

4.5.2. Windows Mobile e Windows Phone

É o sistema operacional da Microsoft para smartphones e sua aparência foi elaborada para se assemelhar ao Windows, do mesmo fabricante, utilizado em computadores pessoais. Foi lançado em 2003 e teve como base o núcleo de outro sistema operacional da Microsoft, o Windows CE.

Como forma de competir com os demais fabricantes de sistemas operacionais para smartphones, a Microsoft não fez imposições para que desenvolvedores de softwares criassem novas aplicações em seu sistema operacional.

O Windows Phone é a evolução do Windows Mobile e foi lançado em 2010, mas o próprio fabricante diz que ambos são incompatíveis. Apesar disso, devido à sua integração com documentos do Office e da parceria com a Nokia, que está substituindo o Symbian, é esperado que o Windows Phone ganhe uma quota de mercado considerável, conforme noticiou a revista eletrônica PC Magazine em seu site⁷³. Mesmo sendo utilizado em aparelhos de diversos fabricantes, como LG, Motorola, HTC e mais recentemente a Nokia, o Windows não vem emplacando como sistema operacional para smartphones, conforme a Tabela 16.

4.5.3. RIM

A RIM (Research in Motion Ltd), utiliza, como sistema operacional em seus dispositivos BlackBerry, um ambiente proprietário multitarefa desenvolvido por eles mesmos. Foi projetado para uso de dispositivos de entrada, tais como a

⁷² Fonte: <http://www.gsmarena.com>

⁷³ Fonte: <http://www.pcmag.com>

track wheel, track pad (Figura 29) e track ball⁷⁴. Em suas versões iniciais permitiu a sincronização sem fio, com e-mail e calendário do Microsoft Exchange Server, bem como do Lotus Domino.



Figura 29 - BlackBerry modelo Bold com track pad ao centro.
Fonte: www.gsmarena.com

Em 1999, o BlackBerry foi o primeiro dispositivo sem fio que sincronizava com o sistema de mensagens de e-mail das empresas e possibilitava que os funcionários continuassem conectados a seus e-mails, mesmo fora dos escritórios.

No início de 2004, um milhão de pessoas utilizavam BlackBerrys. O número saltou para quatro milhões em 2006 e para mais de 20 milhões de usuários no final de 2008.

4.5.4. iOS

iOS (iPhone Operation System) é um sistema operacional desenvolvido e distribuído pela Apple. Foi originalmente lançado em 2007 para o iPhone e iPod Touch, mas seu uso foi ampliado para suportar outros dispositivos da Apple como o iPad e o Apple TV. Ao contrário do Windows Phone e do Android, a Apple não licencia o iOS para instalação em hardware de outros fabricantes.

A interface de usuário do IOS é baseada no conceito de manipulação direta, usa gestos como múltiplos toques na tela, deslizar o dedo, e o movimento de "pinça", utilizado para ampliar ou reduzir a imagem.

Considerado bem estável, tem ainda a vantagem de oferecer uma infindável lista de aplicativos desenvolvidos por terceiros, desde diversão até ferramentas de produtividade. No entanto, o iOS só roda em aparelhos da Apple.

⁷⁴ Track wheel, track ball, e track pad – tipos de dispositivos que são utilizados para deslocar o cursor e navegar pelas informações visíveis na tela do aparelho, geralmente são encontrados entre a tela e o teclado dos aparelhos

Assim como a Microsoft com o Windows, a Apple também não manteve a compatibilidade entre os seus sistemas operacionais. Como por exemplo, o Iphone 3G, que teve seu lançamento em meados de 2008 e foi comercializado até meados de 2010, pode evoluir o seu S.O. até a versão 4.2.1. Mas atualmente as novas versões do iOS somente são compatíveis com os dispositivos mais novos. Recentemente a Apple anunciou o seu iOS6, com lançamento para último trimestre de 2012, e como pode ser verificado na Figura 30, ele também não será compatível com as versões de hardware com mais tempo de mercado.

O iOS 6 é compatível com:



Figura 30 - Compatibilidade entre o hardware e as versões do iOS da Apple
Fonte: <http://www.apple.com.br>

4.5.5. Android

O Android, representado pelo símbolo da Figura 31, é um sistema operacional muito utilizado em smartphones, baseado em Linux quando desenvolvido pela Google e seus parceiros. Por ser uma plataforma com código aberto, qualquer fabricante de terminais celulares, tablets ou computadores, pode utilizar o Android como sistema operacional.



Figura 31 - Símbolo do Android da Google
Fonte: <http://www.android.com>

Outra vantagem de ser uma plataforma aberta é permitir que os aplicativos, escritos para o Android, sejam executados em qualquer dispositivo preparado para utilizá-lo, independentemente do fabricante. Isso traz uma diversidade incrível de opções de softwares, desenvolvidos por qualquer

programador que se interesse pela plataforma. Uma noção dessa quantidade pode ser obtida visitando o próprio site do Android⁷⁵, onde eles informam que somente no terceiro trimestre de 2011, foi feito o download de mais de 2,4 bilhões de aplicativos desse sistema. No mesmo site, também é citado que são ativados 550 mil novos dispositivos com Android todos os dias e que a base instalada já chega a 200 milhões de dispositivos, em mais de 130 países.

A revista PC Magazine publicou em seu site⁷⁶ que o primeiro aparelho com Android, o modelo HTC G1 da Figura 32, foi comercializado em 2008, e rapidamente se transformou no maior adversário do sistema operacional da Apple para os smartphones. Já a partir de 2011, com mais de 100 modelos de dezenas de fabricantes de celulares sendo oferecidos por todas as grandes operadoras de telefonia móvel celular do mundo, os smartphones com Android venderam mais que todos os outros smartphones.



Figura 32 - HTC G1 - o primeiro aparelho com sistema operacional Android
Fonte: <http://www.gsmarena.com>

4.6. Blocos funcionais dos terminais

Telefones celulares são alguns dos mais complexos aparelhos eletrônicos existentes. Apesar disso, sua estrutura em blocos é relativamente simples de compreender, diferentemente de sua placa de circuito impresso, que possui diversos tipos de componentes eletrônicos, muitos deles com diferentes funções.

Conforme demonstrados na Figura 33, de modo geral, um telefone móvel consiste dos blocos informados abaixo (IPMI, 2003) e descritos adiante com mais detalhes.

- Placa de circuito impresso;

⁷⁵ Fonte: <http://www.android.com>

⁷⁶ Fonte: http://www.pcmag.com/encyclopedia_term/0,2542,t=Android&i=58426,00.asp

- Display;
- Teclado;
- Bateria;
- Capa;
- Microfone e alto-falante;
- Acessórios;



Figura 33 - Blocos de um telefone celular típico
Fonte: <http://www.enviroliteracy.org/article.php/1119.php>

4.6.1. Placa de circuito impresso e microprocessadores.

É a parte mais importante do telefone celular. É na placa de circuito impresso que estão conectadas as demais partes funcionais do aparelho e o componente que executa a orquestração dessas partes, a CPU. Além disso, contém outros microprocessadores, como o de sinal digital, o de vídeo e os de periféricos que transformam o aparelho em máquina fotográfica e/ou GPS; alguns tipos de memória, como a ROM (memória só de leitura) e a flash; e também microfone, alto-falantes, antenas e conectores externos.

No passado, cada uma das funções de um celular era executada por um componente colocado em uma placa-mãe típica. Isso requeria mais espaço, limitava o desenho do aparelho, aumentava o consumo de bateria e aumentava a complexidade das placas de circuito impresso. Essa diversidade de componentes pode ser observada na placa de circuito impresso de um telefone celular de segunda geração, Figura 34. Nela, cerca de 440 dispositivos periféricos são montados em uma placa de circuito impresso de 10 camadas⁷⁷.

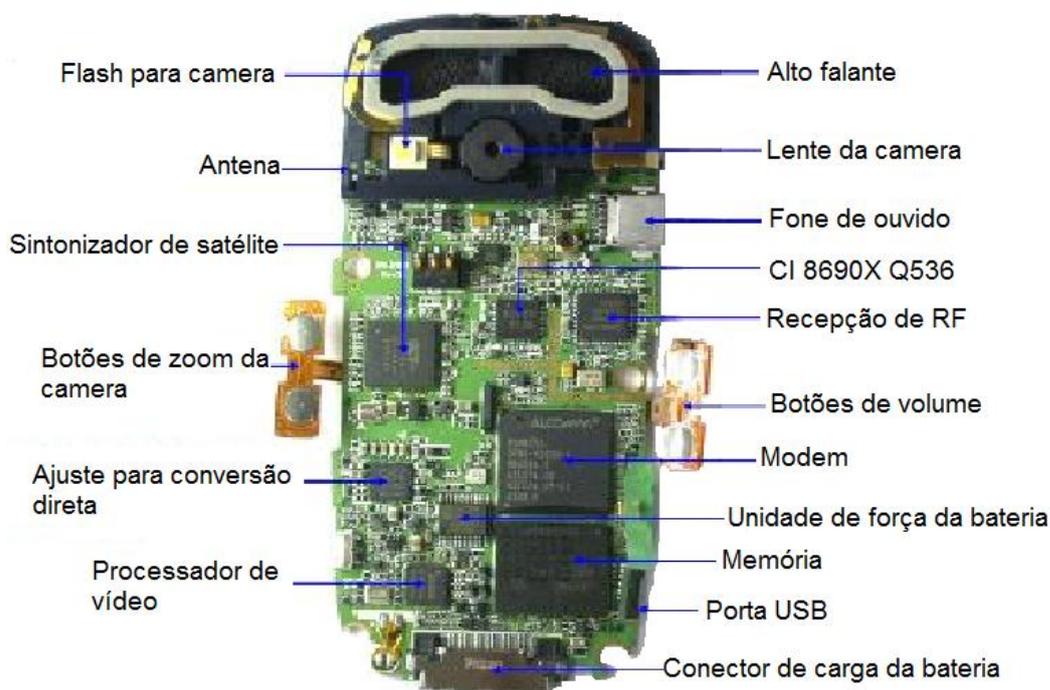


Figura 34 - Placa de circuito impresso de um telefone celular de segunda geração e seus componentes

Fonte: <http://dev.emcelettronica.com/enabling-3d-microelectronics-platforms-mcms>

Muitos desses componentes foram substituídos por módulos que combinam muitas das características mostradas acima. Um exemplo disso está nas placas utilizadas por alguns dos dispositivos celulares 3G, mais modernos e densos (Figura 35), onde 122 componentes são montados em uma PCI de três camadas⁷⁸.

⁷⁷ Fonte: <http://dev.emcelettronica.com/enabling-3d-microelectronics-platforms-mcms>

⁷⁸ Fonte: <http://dev.emcelettronica.com/enabling-3d-microelectronics-platforms-mcms>

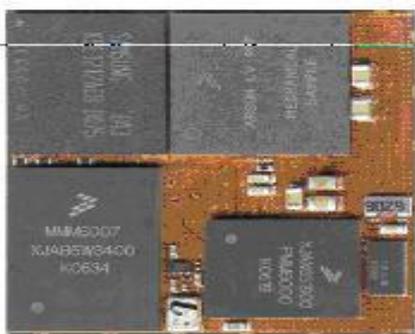


Figura 35 - PCI com componentes de muitas funções embarcadas

Fonte: <http://dev.emcelettronica.com/enabling-3d-microelectronics-platforms-mcms>

Segundo RODRIGUES (2007), uma típica placa de circuito é composta de resina epóxi, à qual é adicionado um retardante de chama bromado, fibra de vidro e cobre. Já os circuitos integrados e os outros componentes eletrônicos geralmente contêm resina epóxi, silício, ouro, prata, níquel, ferro, alumínio e outros metais que são unidos às placas por solda, contendo chumbo e estanho. Todos os materiais componentes podem ser reciclados, entretanto a presença de chumbo na solda e dos aditivos antichama faz com que as atividades para a recuperação dos metais mereçam atenção redobrada em relação aos riscos à saúde dos trabalhadores envolvidos.

4.6.2. Display de informações

O display é um componente eletrônico e, no celular, tem a responsabilidade de demonstrar as informações processadas para o usuário. Nos últimos anos, têm passado por profundas transformações tecnológicas que expandiram o seu uso e as informações demonstradas por eles. Deixou de ser apenas um mostrador de números discados, para se transformar num elemento da estrutura de um celular, que serve não somente para demonstrar, mas também para entrar com informações a serem processadas. É o caso das telas sensíveis ao toque ou touchscreen, onde o usuário não somente lê as informações, mas também interage com o terminal.

Quando foi lançado o primeiro celular portátil nos EUA, no dia 6 de março de 1983, o DynaTAC 8000x da Motorola, Figura 36, oferecia 30 minutos de tempo de conversação, oito horas de bateria com o aparelho em espera, uma memória com capacidade de armazenar 30 números telefônicos, custava

\$3.999,00 e possuía um visor formado por LED's⁷⁹ que mostrava apenas uma parte do número discado no seu display numérico com apenas oito dígitos. Como se pode perceber, no início da telefonia móvel não existiam as telas coloridas e repletas de informações, tão presentes nos aparelhos modernos.

Ao longo do tempo as telas sempre foram retangulares, mas de diversos tamanhos e, na sua evolução, passaram por telas monocromáticas, telas coloridas com poucas cores (256), com muitas cores (16milhoes) e agora, telas sensíveis ao toque.



Figura 36 - DynaTAC 8000x lançado em 1983
Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Motorola_DynaTAC

As telas sensíveis ao toque utilizam um filme fino de óxido de índio dopado⁸⁰ com estanho ($\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$). É uma liga metálica formada por 90% de índio e 10% de estanho. (LOURENÇO, 1993). O problema para a fabricação dessas telas é que o índio está rareando com suas reservas estimadas para até 2020⁸¹. Tem como maior produtor a China, que já está limitando as exportações desse material. Esse tipo de dificuldade, aliada á imensa demanda por aparelhos com touchscreen, está impulsionando pesquisas sobre novos materiais que possam substituir o índio e emulem a capacidade altamente desejável de combinar transparência e condutividade elétrica (CROW, 2011).

⁷⁹ LED – Light-emitting diode – diodos emissores de luz quando são atravessados por uma corrente elétrica em um determinado sentido emitem luz com um determinado comprimento de onda, de acordo com o material semicondutor do qual são feitos: GaAs, GaAsP, ou GaP. Fonte: http://www.unicrom.com/Tut_diodo_led.asp

⁸⁰ Dopagem – processo de adicionar átomos (impurezas) doadores ou receptores de elétrons para alterar as propriedades elétricas de materiais semicondutores relativamente puros. A dopagem reduz a resistência elétrica do semicondutor e permite a passagem de uma corrente utilizável (BOYLESTAD & NASHESKY, 1994)

⁸¹ Fonte: <http://www.microequequenasempresas.com.br/tecnologia/tecnologia-touchscreen-pode-ser-extinta-em-uma-decada/>

4.6.3. Teclados

Existem quatro modos pelos quais os teclados são apresentados em terminais celulares.

Teclado completo - Um teclado QWERTY⁸² completo com teclas físicas. Embora não tenha as teclas com o mesmo tamanho daquelas empregadas nas máquinas de escrever, todas as letras do alfabeto são representadas por suas próprias teclas.

Teclado condensado - Cada tecla representa duas letras ou mais que são acessadas pressionando-se a tecla repetidas vezes.

Teclado Numérico - Um teclado padrão utilizado na maioria dos telefones de baixo valor. As letras do alfabeto estão nas teclas numéricas, por exemplo, o "1" é também "ABC".

Teclado Virtual - Um teclado QWERTY completo é apresentado em uma tela sensível ao toque.

4.6.4. Bateria

O aumento na produção de baterias está diretamente ligado ao consumo de equipamentos eletroeletrônicos, pois ela têm a função de fornecer eletricidade para alimentar os equipamentos através da conversão de energia química em elétrica.

Existem diversos tipos sendo que as mais empregadas atualmente na telefonia móvel são as baterias de lítio-íon (Li-Íon). Também existem as de níquel metal hidreto (NiMH), íons de lítio/polímero (Li-Íon Polímero) e níquel-cádmio (NiCd). Em seu favor, as baterias de lítio-íon possuem fatores como: menor peso; ausência do efeito memória; suporta a mais de 500 ciclos de recarga, o que equivale a quatro ou cinco anos, e alta densidade de energia, ou seja, possui a maior quantidade de energia por volume ou peso da bateria (MARIMOTO, 2007).

Na Tabela 17, é possível observar uma comparação dos tipos de baterias mais utilizadas comercialmente.

⁸² QWERTY – são teclados com os caracteres do alfabeto representados nas mesmas posições de teclas utilizadas nas antigas máquinas de datilografia e nos atuais teclados de computadores.

Tabela 17 - Tipos de baterias de celulares (TRINDADE, 2006)

Tipo de bateria	NiCd	NiMH	Li-íon	Li-íon Polímero
Densidade de energia (Wh/kg)	45 a 80	60 a 120	110 a 160	100 a 130
Ciclos de vida (80% da capacidade Inicial)	500 a 1000	500 a 1000	500 a 1000	300 a 500
Tempo para carga rápida	1 hora	1 a 4 hs	2 a 4 hs	2 a 4 hs
Tolerância para sobrecarga	Moderada	Baixa	Muito Baixa	Baixa
Auto-descarga no 1º mês (temperatura ambiente)	20%	30%	10%	10%
Tensão da célula	1.2V	1.2V	3.6V	3.7V
Temperatura de operação	233 a 333K	253 a 333K	253 a 333K	273 a 333K
Manutenção	30 a 60 dias	60 a 90 dias	Não necessário	Não necessário
Comparação de custo Pack 7.2V	R\$ 115	R\$ 138	R\$ 230	R\$ 230
Custo por ciclos	R\$ 0,12	R\$ 0,14	R\$ 0,23	R\$ 0,46
Início do uso comercial	1950	1990	1991	1999

O passivo ambiental causado pelas baterias é difícil determinar, mas não é pequeno. Conforme estudo publicado por BARBOSA et al (1999), em 1999 eram 15 milhões de linhas celulares no Brasil; em 1997 aproximadamente 80% utilizavam baterias de Ni-Cd; o tempo de vida útil dessas baterias era de aproximadamente dois anos e pelo menos 20% dos usuários possuíam uma bateria de reserva. Com base nesses fatores foi estimada a existência de aproximadamente 23 milhões de baterias à época, sendo que em 2000, o Ministério do Meio Ambiente ainda estimava que 5,5 milhões de celulares ainda utilizavam baterias de Ni-Cd.

Baterias de telefones móveis também contêm materiais de valor, o que justifica a sua reciclagem. Por exemplo: o cobalto, nas baterias de lítio-íon, pode ser reciclado para uso em ligas magnéticas; o níquel e o ferro, das baterias NiMH (contém 28 a 35% de níquel) e de Ni-Cd (contém 16 a 20% de níquel), pode ser utilizado no aço inoxidável (HESTER & HARRISON, 2009).

Diante da demanda crescente por eletroeletrônicos movidos a bateria, a reciclagem delas tornou-se importante fonte de recuperação de materiais e um meio para preservar o meio ambiente. Segundo estudos publicados pela UMICORE (2012), o processo de reciclagem economiza 70% de energia e lança 70% menos dióxido de carbono na atmosfera.

4.6.5. Capa Plástica

Utilizada principalmente para proteção, a capa é geralmente dividida em duas partes, a dianteira e a traseira. É responsável pela proteção das partes internas do aparelho e por isso deve oferecer boa resistência a certos descuidos como quedas e torções. Geralmente é utilizado plástico em sua fabricação, mas muitos aparelhos utilizam metal, como forma de dar maior resistência. Em alguns terminais as capas externas não são suficientes para segurarem as outras partes nos seus lugares, tornando necessária a utilização interna de peças de metal, como estrutura de fixação para as outras partes.

4.6.6. Antena

É um dispositivo passivo utilizado para receber e enviar os sinais de rádio frequência. Nos aparelhos mais antigos, por exemplo, os analógicos da 1ª Geração e os primeiros aparelhos CDMA e GSM, Figura 37, eram comuns antenas externas fixas ou retráteis, que podiam ser estendidas manualmente. Os desenhistas de aparelhos não estão mais utilizando, para os dispositivos 3G, as antenas aparentes. Em vez disso, são deixadas por dentro da carcaça, o que influencia a qualidade da recepção do sinal, ou as estão camuflando nas capas dos aparelhos. A camuflagem na própria carcaça foi utilizada no Iphone4, como o da Figura 38, mas foi motivo de problemas para a Apple, pois de acordo com o próprio fabricante, ao manusear o aparelho o usuário curto-circuitava com suas próprias mãos as duas antenas que existem no aparelho. Com isso a qualidade do sinal recebido ficava degradada e o uso do aparelho ficava limitado.



Figura 37 – Celular Nokia 5110, GSM de segunda geração, lançado por volta de 1998, com sua antena externa aparente.

Fonte: <http://www.gsmarena.com>

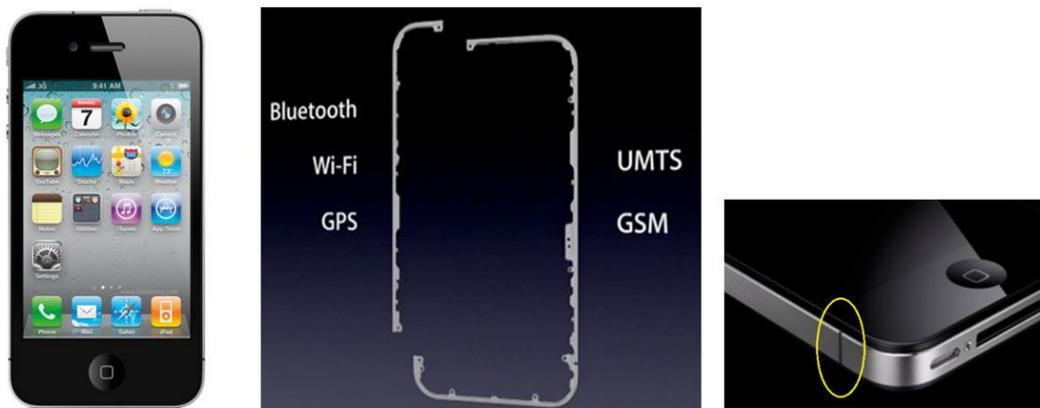


Figura 38 – Celular Iphone4 da Apple, de terceira geração, com detalhe das antenas e do isolamento entre elas.

Fonte: <http://www.gsmarena.com>; <http://www.anandtech.com>

4.6.7. Wi-Fi

Presente nos telefones celulares mais sofisticados, o Wi-Fi possibilita ao usuário conectar-se à internet por meio de uma rede local sem fio, evitando assim os custos da transmissão de dados via rede da telefonia móvel.

A quantidade de dados transmitidos pela internet móvel vem aumentando e os custos para os usuários e operadoras também. Isso leva a dois movimentos, um impulsionado pela necessidade dos usuários de reduzir seus gastos e outro levado pela escassez do espectro das operadoras, que veem na possibilidade do uso do Wi-Fi um modo de reduzir a quantidade de assinantes acampados no espectro que utilizam.

A capacidade de uso de Wi-Fi nos terminais é um dos grandes fatores de troca de terminais.

4.6.8. Bluetooth

Bluetooth é uma arquitetura de camadas de protocolos para redes sem fio, com baixo alcance. Foi especificado em 1998 por um consórcio, batizado de Bluetooth, e formado inicialmente pelas empresas Ericsson, IBM, Toshiba, Nokia e Intel. O objetivo era possibilitar o uso de diversos dispositivos como fones de ouvido sem fio, conexões com aparelhos de rádio automotivos para transmissão do som, rede sem fio entre aparelhos com a tecnologia embarcada.

Através de uma frequência de rádio de curto alcance, não licenciada e segura, os dispositivos podem ser pareados desde que tenha sido previamente acordada uma senha. Utiliza para transmissão e recepção uma antena, geralmente já compartilhada com outras funções contidas no terminal celular, e microchips transmissores, de baixo custo, em cada dispositivo.

4.6.9.GPS

O GPS (Global Position System) serve para captar os sinais dos satélites que atendem a esse serviço e calcular dados de navegação, como localização baseada em latitude e longitude, velocidade de deslocamento, altitude etc.

Nos terminais celulares, há a dependência de um aplicativo específico para demonstrar os resultados.

4.6.10. Acessórios

4.6.10.1. Recarregador

Cada novo aparelho que sai de fábrica traz consigo, dentro da caixa, um novo recarregador de baterias. Isso representa um custo para o consumidor, que tem que pagar por ele, mas também é um problema para o fabricante que muitas vezes acaba terceirizando sua fabricação. De olho nesse problema, a União Internacional de Telecomunicações (ITU) aprovou em 2009 um padrão para carregador, que vai funcionar com todos os celulares que já estiverem de acordo com o novo modelo.

Esse novo padrão é baseado na interface micro USB, Figura 39, já adotada em modelos de alguns fabricantes. Com isso, espera-se ter um melhor aproveitamento da energia e evitar que sejam produzidos anualmente 51 mil toneladas de carregadores excedentes, o que representará uma redução de 13,6 milhões de toneladas por ano de emissões de gases causadores do efeito estufa. (ZMOGINSKI, 2009).



Figura 39 – Micro USB será padrão nos carregadores de celular⁸³

4.6.10.2. Fone de ouvido

A maioria dos telefones atuais já possui no seu pacote de venda pelo menos um fone de ouvido com fio composto de microfone e alto-falantes.

No entanto é possível adquirir outros modelos mais sofisticados que utilizam Bluetooth para transmitir/receber o som.

Como são acessórios muito frágeis acabam tendo uma vida útil mais curta do que o próprio aparelho.

4.6.10.3. Cabos de dados

Apenas os aparelhos de valores mais elevados, como os smartphones, vêm com esse tipo de cabo, pois os mesmos servem de modem para o acesso à internet e também como unidade de armazenamento.

4.7. Materiais que compõem o aparelho

De modo geral, os EEE diferem em aplicações, modelos e qualidade de fabricação. Portanto, nada mais previsível que os percentuais de materiais empregados neles sejam bem diferentes de um para o outro. Isso mostra que devem ser identificadas os tipos de sucata eletrônica em que eles se transformam antes de serem enviados para a reciclagem. Para certificar a existência de diversos materiais o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento do Meio Ambiente realizou um estudo em 2011 (UNEP/BASEL, 2011), onde identificou diversos elementos contidos numa amostra de telefone

⁸³ Fonte: <http://tecnologia.uol.com.br/ultnot/2009/11/12/ult4213u886.jhtm>

celular da época. Uma tabela com o resultado desse estudo pode ser encontrada no ANEXO II.

A reciclagem é um importante fator de fornecimento de muitos metais utilizados em nossa sociedade e propicia benefícios ambientais (SCHLUEP et al, 2009) como:

- Economia de energia – 1 kg de alumínio reciclado utiliza apenas 1/10 da energia necessária na produção primária a partir da bauxita;
- Redução de resíduos – 1 kg de alumínio reciclado evita a criação de 1,3Kg de resíduo de bauxita;
- Redução da emissão de gases – 1 kg de alumínio reciclado evita a emissão de 2 kg de CO₂ e 0,011kg de SO₂;
- Reduz a pressão sobre a mineração de recursos minerais.

Conforme HESTER & HARRISON (2009) explicam, entre 65 e 80% do material contido num telefone celular é reciclável ou reutilizável. Entretanto, se for considerado o uso do plástico como fonte de energia, o percentual de recuperação fica em torno de 90%. Essa diferença nos percentuais de reciclagem, apontadas pelos autores, se dá porque, atualmente, o plástico ainda é colocado em segundo plano na indústria de reciclagem de polímeros, devido ao seu baixo retorno financeiro e devido aos processos de reciclagem não estarem completamente desenvolvidos.

Enquanto os REEE, de maneira geral, podem conter até 60 elementos da tabela periódica, os resíduos de telefones celulares correspondem sozinhos a aproximadamente 40 deles. Por exemplo, um telefone pode conter metais básicos como cobre e estanho; metais especiais como cobalto, índio e antimônio e metais preciosos como ouro, prata, platina e paládio. A Figura 40 demonstra esses e outros elementos presentes nos terminais móveis. Refletindo sobre esses diferentes componentes encontrados nos terminais, é possível imaginar a quantidade de minas diferentes de onde eles foram retirados, e que os impactos ambientais relativos a essa atividade não devem ser pequenos.

■ Substâncias encontradas em Celulares (fonte: Nokia)

1	IA																VIII A																			
1	H																He																			
2	Li		Be												B		C		N		O		F		Ne											
3	Na		Mg												Al		Si		P		S		Cl		Ar											
4	K		Ca		Sc		Ti		V		Cr		Mn		Fe		Co		Ni		Cu		Zn		Ga		Ge		As		Se		Br		Kr	
5	Rb		Sr		Y		Zr		Nb		Mo		Tc		Ru		Rh		Pd		Ag		Cd		In		Sn		Sb		Te		I		Xe	
6	Cs		Ba		La-Lu Lanthanoiden		Hf		Ta		W		Re		Os		Ir		Pt		Au		Hg		Tl		Pb		Bi		Po		At		Rn	
7	Fr		Ra		Ac-Lr Actinoiden		Rf		Db		Sg		Bh		Hs		Mt		Uun		Uuu		Uub		Uuq											

Figura 40 - Tabela Periódica com representação dos elementos encontrados nos celulares

Aproximadamente 23% do peso de um telefone celular é metal, sendo que a maior parte é cobre. Contudo, se observarmos uma tonelada de terminais sem as suas baterias, vamos encontrar 3.5kg de prata (Ag), 340g ouro (Au), 140g paládio (Pd) e também 130kg de cobre (Cu). No entanto, se olharmos para apenas um telefone médio, os metais preciosos estão na ordem de miligramas, já o cobre e o cobalto (contido na bateria de lítio-íon) estão na ordem de gramas (HAGELÜKEN C. & MESKERS C.E.M.). Uma boa ideia sobre os percentuais de cada material dentro dos celulares pode ser obtida no ANEXO II.

Os 26,2 milhões de aparelhos vendidos no Brasil em 2010, para substituir aparelhos que se tornaram obsoletos, como mencionado no item 4.3 – Mercado brasileiro de celulares, nos forneceriam valores como os mostrados na Tabela 18 onde foram considerados os valores de metais preciosos obtidos para o ano de 2010, através do Sumário Mineral de 2011 produzido pelo DNPM (2011).

A Tabela 18 ilustra ainda que quando uma grande quantidade de celulares torna-se obsoleta, grandes volumes de metais terminam em depósitos de lixo ou abandonados em gavetas. Todo esse material, potencialmente recuperável, faria uma diferença significativa na redução da necessidade de novas extrações, na redução do consumo de energia e na emissão de CO₂. Além disso, com os valores estimados, a reciclagem mostra-se como um caminho no mínimo passível de investigações mais profundas para confirmar sua viabilidade econômica.

Tabela 18 - Exercício para valorar as quantidades de metais empregadas em celulares que se tornaram obsoletos no ano de 2010 no Brasil.

Aparelhos obsoletos em 2010 no Brasil	Peso por celular em 2010 (g)	Peso total (ton)
26,2 milhões	118	3091,6

	Substância	(g)/ton	Peso total do metal (kg)	Valores médios para os minerais em 2010**** em USD/kg	Valores totais estimados para 2010 USD
Substância por tonelada de celulares (g)	ouro*	340	1.051,14	44.288,26	46.553.337,77
	prata*	3.500	10.820,60	570,67	6.174.991,80
	paládio*	140	432,82	16.997,44	7.356.901,71
	platina**	3	9,27	51.909,91	481.454,07
	cobre*	130.000,	401.908,00	7,37	2.962.061,96

Peso médio por unidade (g)	cobalto*	3,5g/und	91.700,00	39,40	3.612.980,00
----------------------------	----------	----------	-----------	-------	--------------

% médio presente da substância	alumínio***	3%	92.748,00	2,11	195.920,88
--------------------------------	-------------	----	-----------	------	------------

Fonte: * (SCHLUEP et al, 2009); ** (HESTER & HARRISON, 2009); *** (UNEP/BASEL, 2011); **** (DNPM, 2011).

4.8. Tempo de vida útil dos celulares

Não se tem um consenso a respeito do tempo de vida útil de um telefone móvel. São diversas publicações comentando o assunto, e a divergência é notável, sendo que os motivos podem ser vários como, por exemplo, o país ou a região onde os dados foram levantados e o ano em que foi realizada a pesquisa. Mas, independente da origem da informação e seguindo a regra da obsolescência programada, todos concordam que os aparelhos estão se tornando obsoletos muito rapidamente. Para exemplificar, segue uma lista, na Tabela 19, com as fontes e com os tempos de vida útil dos terminais celulares citados por elas:

Tabela 19 - Tempo de vida útil de celulares.

Tempo de vida útil	País mencionado	Fonte
1 ano e meio	EUA	(SULLIVAN, 2006)
3 anos	Argentina	(GRENPEACE, 2010)
1 ano e meio	Brasil	(SOUZA et al, 2007)
2 anos	Brasil	(RODRIGUES, 2007)
2 anos	Brasil	(FEAM, 2009)
2	EUA	(FEAM, 2009)
2	Chile	(FEAM, 2009)
2	Colombia	(FEAM, 2009)
2	Peru	(FEAM, 2009)

4.9. Celulares de berço-ao-berço

Ao contrário de muitos outros materiais, como os plásticos, as características dos metais são definidas ao nível atômico, o que significa que eles podem, teoricamente, ser recuperados e reciclados infinitamente, sem qualquer perda de qualidade.

Conforme explicado pela OECD (2010) um sistema do berço-ao-berço é composto de um circuito fechado de fabricação, recuperação e reutilização que permite que um material seja recuperado mesmo depois dos ciclos de vida de muitos produtos.

Com a ascensão dos 3Rs (Reduzir, Reutilizar, Reciclar) e do Princípio da Responsabilidade Estendida do Produtor, os ciclos de vida devem se tornar prolongados (com a utilização do produto por mais tempo) e circulares (do berço-ao-berço), deixando de ser lineares (do berço ao túmulo).

A Figura 41 representa o modelo do fluxo de materiais de telefones móveis dentro do conceito do berço-ao-berço, demonstrando: a entrada de material através da extração na natureza das matérias-primas; o projeto do equipamento e a sua influência sobre o processamento da matéria-prima, a manufatura e a distribuição; o uso e a manutenção; o fim da vida útil e o seu descarte; os programas de triagem para reciclagem ou recondicionamento e reutilização; o ciclo fechando com a reutilização do equipamento recondicionado ou da matéria prima voltando para o estágio de processamento. Ainda nessa figura vale ressaltar que é uma representação aplicável para todos os EEE de consumo contendo uma placa de circuito impresso

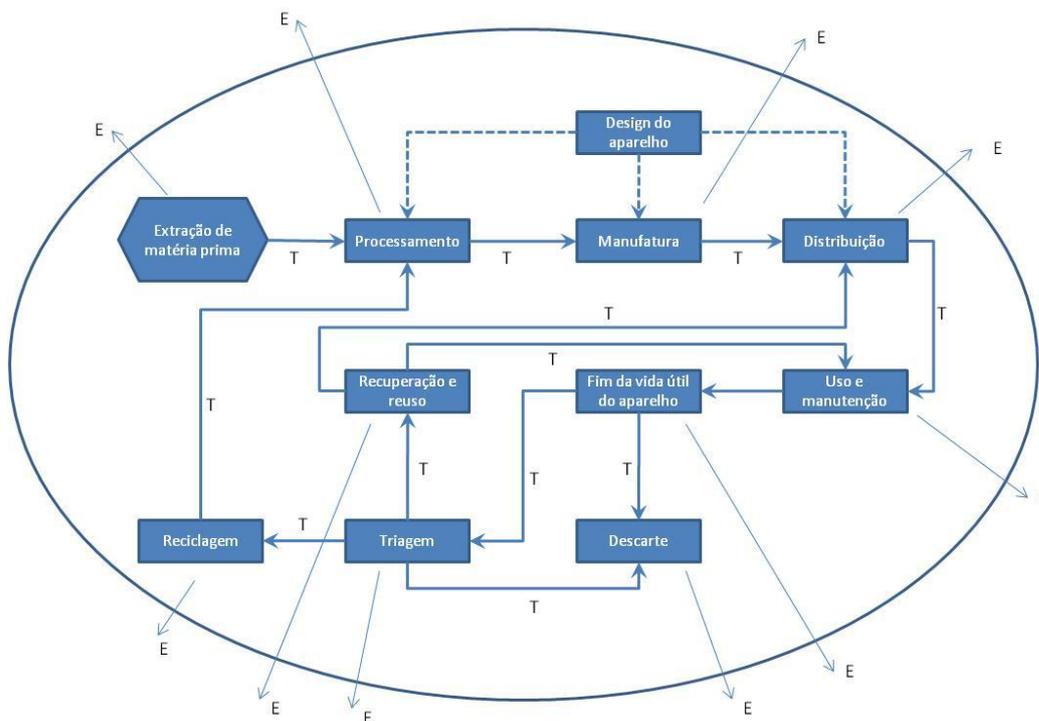


Figura 41 - Ciclo de vida de um telefone celular – fluxo do produto, com emissões associadas e impactos causados pelo transporte
Fonte: OECD, 2010

4.10. O que vem por aí

Os fabricantes não param de inovar, e para os próximos anos os terminais estarão entrando no mercado com telas com mais resolução, maior poder de processamento (2 e 4 processadores), mais capacidade de memória, mais integração com a internet, jogos em rede muito mais realistas e muitas outras funções. E, o que hoje é novidade, amanhã estará dando lugar às inovações.

Atualmente já temos mais dispositivos conectados à internet do que pessoas no Globo e, a perspectiva é que tenhamos até o final de 2020, aproximadamente 50 bilhões de conexões simultâneas à internet (ERICSSON, 2011).

Em números, esses dispositivos serão algo muito além dos nossos computadores conectados via cabo, à rede. Esses dispositivos serão terminais móveis ligados à Internet via tecnologia WCDMA, Wi-Fi, LTE e, principalmente, LTE Advanced. Eles terão a forma de celulares, tablets, e principalmente estarão na forma de modems, embarcados em nossos utensílios domésticos como geladeiras, cafeteiras, máquinas de lavar e outros dispositivos para atendimento bancário e redes de cartões de crédito e débito.

Já utilizada em países como Coréia do Sul e Japão o NFC, sigla para comunicação por proximidade de campo (Near Field Communication), deverá ser uma das próximas ondas da telefonia celular, segundo alguns fabricantes como Nokia, Sony e Philips. Através dela será possível a transmissão de dados em curta distância, menores do que 4cm, entre aparelhos celulares e outros dispositivos. O NFC possibilitará o compartilhamento de cartões de visita, fazer transações, enviar músicas para outro terminal próximo, passar crédito para outro aparelho celular, acessar informações de pôsteres inteligentes ou fornecer credenciais para sistemas de controle de acesso com um simples toque de confirmação. Além disso, possibilitará um grande número de oportunidades comerciais na telefonia móvel substituindo cartões de crédito e débito.

Ainda existirão aparelhos feitos de materiais tão evoluídos que terão a capacidade de se moldarem ao formato mais adequado para atender à necessidade de seu usuário. Isso será possível através do emprego dos novos componentes fabricados a partir de nanotecnologias e que possibilitarão o uso dos terminais no formato de um relógio de pulso, desdobrado em um tablet ou utilizado como os celulares de hoje em dia. A Figura 42 demonstra o MORPH, um celular conceito fabricado pela Nokia que demonstra como poderão ser os celulares dentro de 10 a 15 anos com o emprego da nanotecnologia. Ele apresenta material flexível e esticável, componentes eletrônicos transparentes, e terá sensores para leitura das condições do meio em que se encontra, como temperatura e condições de poluição atmosférica (NRC, 2008).



Figura 42 - Morph um celular conceito do fabricante Nokia
Fonte: NRC, (2008)

Outros aparelhos terão telas flexíveis para se adaptar a estruturas flexíveis como as mencionadas acima ou telas transparentes que poderão ser utilizadas até mesmo em para-brisas de veículos. Essas tecnologias já estão prestes a entrar no mercado, como mostram as Figura 43 e Figura 44, respectivamente.

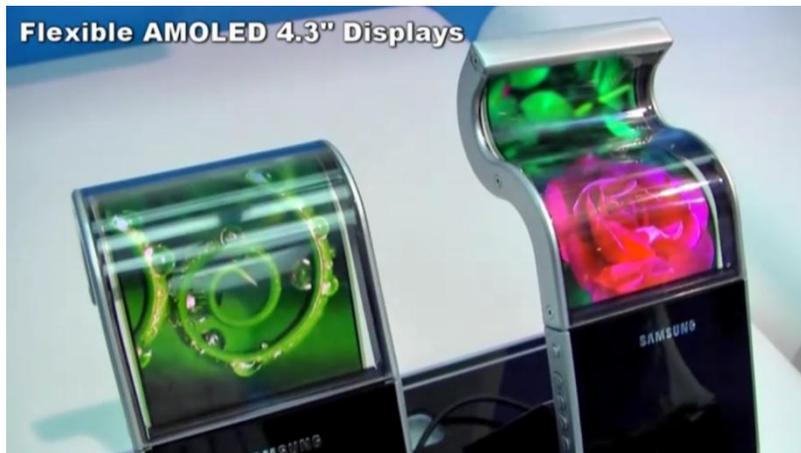


Figura 43 - Aparelhos Samsung com tela OLED Flexível
Fonte: NRC, (2008)

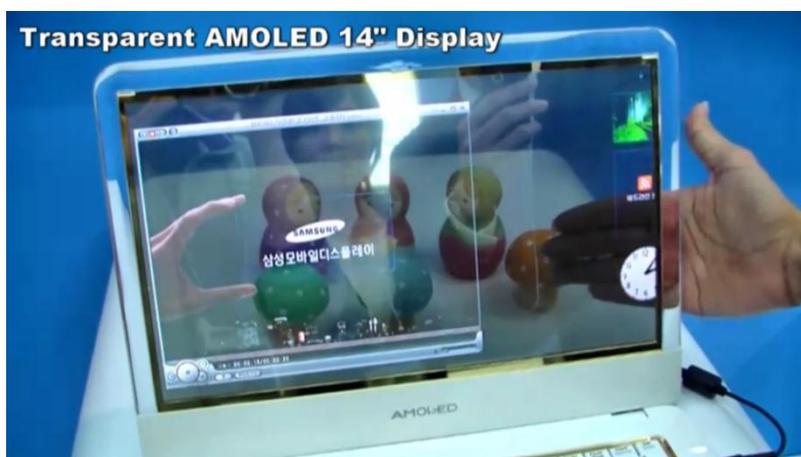


Figura 44 - Demonstração de transparência em telas de AMOLED
Fonte: NRC, (2008)

Essas e outras tecnologias estarão disponíveis para a sociedade em algum momento no futuro e são amostras do que a indústria irá oferecer como chamariz para continuar vendendo. Serão a locomotiva que continuará puxando a troca de terminais celulares, e de outros aparelhos eletroeletrônicos, por muitos anos.

No entanto, o impacto destes novos materiais, empregados em telefones móveis celulares, tablets e laptops, é incerto quanto à possibilidade de reutilização e reciclagem. Com essas novidades, várias perguntas vão aparecendo, como por exemplo: é possível reciclar, como é o processo? Qual é o impacto sobre o meio ambiente se for descartado de forma descuidada? São necessárias mais pesquisas para compreender melhor as repercussões da introdução de novos materiais avançados nos EEE, na sua futura reciclagem e na deposição de seus rejeitos.

4.11. Conclusão

A utilização do celular traz conforto, segurança e praticidade para o dia a dia dos cidadãos, mas o rápido crescimento da quantidade de assinantes nas redes não mostra a realidade dos problemas que os pequenos aparelhos podem trazer para a sociedade.

Celulares são equipamentos eletrônicos que empregam a mais recente tecnologia ao serem fabricados. Muitos modelos têm hardware desenvolvido com a exclusiva intenção de serem utilizados apenas por eles e o índice de reciclagem ou de reaproveitamento de suas partes é baixo, assim como dos REEE em geral.

Essa constatação vem demonstrando um problema que cresce em discussão, mas com poucos resultados práticos: o que fazer com o acúmulo de terminais celulares (incluem-se aqui, terminais, modems e todos os acessórios como carregadores de baterias) obsoletos e em poder da população? Como direcioná-lo para a reciclagem e como fazer para reaproveitar toda matéria-prima contida nos mesmos? Algumas ações, na Europa e Japão, mostram que já se está acordando para o fato de que os equipamentos eletrônicos são, no final de seus ciclos de vida, matéria-prima para a indústria e fonte de riquezas.

No Brasil, em resumo, temos que:

- Cada usuário do sistema, na média, troca seu aparelho entre 18 e 24 meses , conforme a Tabela 19;
- A média do peso dos aparelhos em 2006 era de 99g, mas vem aumentando e em 2010 chegou a 118g (Tabela 14) com o advento de tablets e outros aparelhos de maior abrangência de empregabilidade, como os smartphones que, comparados aos featurephones, são mais pesados;

- Em dezembro de 2011 eram 242,2 milhões de linhas em uso no Brasil (Figura 22) e no mundo mais de seis bilhões (
- Figura 21);
- Considerando dois anos de uso para cada telefone, até o final de 2013 serão trocados 242,2 milhões de terminais no Brasil e no mundo aproximadamente 6 bilhões;
- De 2001 a 2010 mais de 20.000 toneladas de telefones celulares tornaram-se obsoletos (Tabela 14)
- Conforme a Tabela 18, somente no ano de 2010, mais de 3000 toneladas de terminais celulares tornaram-se obsoletos aqui no Brasil. Considerando a reciclagem apenas das partes com metal e que todo esse volume fosse reciclado, aproximadamente 600 toneladas de material poderiam ser reutilizadas. Entre a matéria prima recuperada estaria ouro, prata, cobre, alumínio. Além do valor comercial desse material que poderia chegar, considerando valores médios de 2010, a 67 milhões de dólares, ainda teríamos todos os benefícios ambientais relativos à redução do consumo de energia e emissões de CO₂ para sua extração e beneficiamento.

A reciclagem de telefones móveis celulares é uma atividade que reduz a quantidade desses aparelhos a serem jogados em aterros sanitários ou lixões e tem por objetivo aproveitá-los como fonte de matéria-prima na manufatura de outros produtos, eletrônicos ou não. Dessa forma os celulares são reinseridos na cadeia de produção e seus materiais reaproveitados no ciclo de vida de algum produto.

5 CONCLUSÃO, DESAFIOS SUGESTÕES.

O usuário de telefonia móvel celular quer estar visível para a sociedade de modo que qualquer um possa contatá-lo. Por esse motivo, a finalidade de um telefone celular é atender aos anseios do usuário quanto à capacidade de comunicação, por voz ou por dados, onde quer que ele esteja.

A evolução da tecnologia permitiu melhorias como a miniaturização dos componentes e o aumento da capacidade de processamento. E viabilizados por essas melhorias, os terminais celulares modernizaram suas aparências e a quantidade de funcionalidades. Enquanto isso, as redes que os conectam aumentaram a capacidade de voz e a velocidade da taxa de transmissão de dados.

As melhorias nos terminais e na rede influenciaram o desejo de consumo do usuário, que deixou de querer apenas um telefone, passou a mostrar um estilo e utilizar aplicativos modernos que facilitam o dia a dia.

A demanda por novidades impulsionou as vendas de telefones celulares, a rapidez com que são trocados e diminuiu o tempo para se tornarem obsoletos. Isso potencializou um problema já existente com outros equipamentos eletroeletrônicos, que é a geração de REEE.

Alguns fatores podem ser citados como principais incentivadores da troca de aparelhos pelos usuários: o interesse nas novidades oferecidas; a obsolescência dos terminais antigos; a necessidade de evolução da rede de telefonia móvel e consequente emprego de diversas tecnologias de acesso (AMPS, CDMA, TDMA e WCDMA) para atender à demanda da população por mais linhas e maior capacidade de voz; a diversidade de operadoras trabalhando em faixas de frequência diferentes e a disputa entre elas pelos clientes, através de pacotes de serviços.

Além desses fatores, no Brasil, o aumento da renda média da população vem puxando a quantidade de EEEs adquiridos anualmente e, conseqüentemente, aumentando o volume de REEE's produzido pela população.

O REEE é produzido a partir de EEE ao final de sua vida útil. No entanto, a cada ano que passa esses últimos estão se tornando obsoletos mais

rapidamente e, por se mostrarem inofensivos no entendimento da grande maioria da população, acabam sendo descartados de forma ambientalmente inadequada.

Além do impacto ambiental, o descarte de forma inadequada também é um grande desperdício de matéria-prima, uma vez que a maior parte de um REEE é reciclável, desde que ele chegue a uma indústria recicladora eficiente.

Uma destinação ambientalmente correta para os REEE's depende de vários fatores da logística reversa: uma população consciente da importância da separação dos resíduos que serão descartados; sistema de coleta seletiva eficiente; e plantas industriais capazes de reciclar os REEE's extraindo deles matéria-prima e produzindo a menor quantidade possível de rejeitos.

Em 2010 o Brasil teve promulgada sua primeira Lei sobre o tratamento de resíduos sólidos. Ela define, entre outras coisas, os atores responsáveis pelas etapas da logística reversa e de padrões sustentáveis de produção e consumo, atribuindo responsabilidades a todos os atores do ciclo de vida do produto. No entanto, a Lei ainda depende de regulamentação para definir o tratamento a ser aplicado aos REEE. Inclusive quanto a sua natureza em relação à periculosidade. Fato importante que pode redefinir, inclusive, a logística reversa já praticada pelas operadoras anteriormente à promulgação da Lei.

Apesar de pouco expressiva frente à quantidade de telefones vendidos, a logística reversa, impulsionada pelas operadoras de telefonia móvel, é uma boa iniciativa. No entanto, apesar da separação e classificação das partes dos telefones celulares descartados, que ocorre nas recicladoras, e da reciclagem das baterias, as partes mais valiosas – as placas de circuito impresso - são exportadas para países onde as indústrias possuem know-how e capacidade para esse tipo de reciclagem, sendo possível extrair até 17 metais diferentes dessa sucata, inclusive metais preciosos. Essa tecnologia ainda não é empregada no Brasil.

Ainda que pequenos, os telefones celulares são comercializados numa quantidade expressiva, e, por possuírem uma grande variedade de materiais, podem ser considerados como uma importante fonte de matéria-prima. No entanto, para garantir essa fonte, é preciso incentivar os consumidores finais, peça mais importante no sistema de logística reversa, a darem a destinação adequada para os aparelhos e seus acessórios, entregando-os nos pontos de recolhimento distribuídos geralmente em lojas de operadoras ou centros de reparo.

Os EEE, especialmente, os telefones celulares, possuem placas de circuito impresso recheadas de metais com alto valor de mercado, que emitiram muitas toneladas de CO₂ para sua obtenção e são considerados responsáveis por muitos problemas sociais, como ocorre na República Federativa do Congo. Além disso, os EEE possuem outros inúmeros compostos perigosos à saúde e ao meio ambiente que os tornam perigosos se não forem corretamente dispostos. O problema é que, ao final da vida útil dos EEE's, alguns países ricos exportam para países pobres REEE's como doação, mas na realidade, o que estão fazendo é livrar-se de um potencial problema ambiental. Nos países do terceiro mundo, esses resíduos são reciclados com técnicas primárias, como o uso do fogo para extração do cobre dos fios e o uso de ácidos para a separação do ouro, reduzindo muito o percentual de extração de matéria-prima e liberando diversos componentes químicos que intoxicam as pessoas e poluem o solo, as águas e o ar.

O mercado de celulares carece de padronização para telas, baterias, gabinetes, e outras partes, favorecendo o aumento do tempo de vida útil de um aparelho através de seu upgrade ou da troca de partes defeituosas. Uma atitude que começa a dar resultado, por exemplo, é a recarga de baterias através das portas micro USB. Como essa porta é padronizada, já é possível verificar maior quantidade de aparelhos que utilizam o mesmo tipo de recarregador, mas isso é muito pouco.

5.1. Desafios

A falta de leis e regulamentos aplicáveis aos resíduos sólidos eletroeletrônicos, associada à necessidade de conhecimento da sociedade sobre normas existentes, dificulta o desenvolvimento de programas e projetos que viabilizem um processo de reciclagem eficiente, não só no Brasil, mas mundo afora. O único país que demonstra ter um processo qualificado é o Japão onde os índices de reaproveitamento do material são os mais altos encontrados no globo. Isso se dá devido a uma população culturalmente educada para proceder de modo racional e responsável no tratamento dos resíduos sólidos, viabilizando programas de governo que encaminhem o material, no final de sua vida útil, para os seus produtores.

No Brasil nossos maiores desafios são: colocar em prática a Lei sobre a PNRS nas esferas do poder federal, estadual e municipal; educar a população

para que deem a destinação correta para seus resíduos de EEE e viabilizar economicamente a reciclagem desses resíduos.

Dependemos ainda de interesse por parte de governo e empresários para viabilizar plantas industriais capazes de processar todos os tipos de materiais encontrados na sucata de equipamentos eletroeletrônicos e não somente aqueles separáveis manualmente ou por processos mecânicos. Não podemos continuar enviando a nata da sucata eletrônica, as placas de circuito impresso, para reciclagem em outros países. Não é possível continuar a exportar metais preciosos e outras matérias-primas como se fossem sucata.

5.2. Sugestões

Evitar gerar o lixo eletrônico é provavelmente a melhor maneira de gerenciar o seu uso. No entanto, uma vez existente a doação para o seu reuso ainda é melhor opção do que ser reciclado, pois sua vida útil é prolongada evitando-se a necessidade da fabricação de novos equipamentos para atender à demanda.

A situação do reuso de eletroeletrônicos é comum em comunidades carentes onde, através de associações, são recebidos como doações. Geralmente são computadores e seus componentes para serem reaproveitados no aprendizado de informática. No entanto, nem todos os eletroeletrônicos são de fácil reutilização. No caso de celulares, poucos são reaproveitados.

No Brasil, fora os programas de recolhimento de operadoras de telefonia móvel celular, dos fabricantes dos aparelhos e de algumas cooperativas, não existem doações de aparelhos, pois mesmo que isso seja feito para pessoas de baixa renda, esses últimos ainda teriam que pagar por uma linha telefônica. Por esse mesmo motivo, ainda seria mais fácil contratar uma linha e receber o aparelho novo e de graça da operadora do que pedir para alguém doar um aparelho. Por esses motivos, celulares têm apenas um caminho – a reciclagem.

Os usuários dos sistemas de telefonia móvel celular que estiverem preocupados com a geração de resíduos eletrônicos deveriam então, ao comprar esse tipo de produto, optar por aqueles que:

- São fabricados com menos componentes tóxicos - para isso deve ser verificado na documentação do aparelho se ele, por exemplo, segue a Diretiva RoHS (uma vez que a maioria dos modelos de aparelhos é vendida no mercado europeu);

- Utilizam para a sua fabricação material reciclado - infelizmente essa é uma informação muito limitada e que somente é disponibilizada para alguns modelos de determinados fabricantes
- São projetados para fácil atualização ou conserto
- Utilizam embalagens com o mínimo de material ou se a mesma é proveniente de reciclagem;
- Possibilitam atualização de seus sistemas operacionais e/ou firmware. Dessa maneira seria possível estender a vida do hardware sem ficar defasado com as novidades lançadas pela indústria de softwares e sem a necessidade de novas aquisições. Atualmente os aparelhos baseados em Android e IOS já possuem certa viabilidade de atualização, mas se são vendidos com uma versão de sistema operacional, dificilmente terão capacidade de hardware para suportar versões de S.O. além da imediatamente seguinte.;
- Utilizam carregadores e fones de ouvido com os conectores padronizados;
- Os fabricantes disponibilizem informações sobre a logística reversa dos aparelhos e tenham ou participem de algum programa de reciclagem;

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3G AMERICAS. EDGE, HSPA and LTE, The mobile broadband Advantage. Setembro de 2007. Disponível em: <http://www.4gamericas.org/documents/2007_Rysavy_091007.pdf>. Acessado em 23-03-2012.
- 4G AMERICAS. The Benefits of Using LTE in Digital Dividend Spectrum, novembro de 2011. Disponível em: <http://www.4gamericas.org/documents/Benefits%20of%20LTE%20in%20Digital%20Dividend_11.08.11.pdf>. Acessado em 23-03-2012.
- [ABINEE], Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. Audiência Pública - Comissão de Defesa do Consumidor - Pós-vendas de aparelhos de Telefonia Móvel Celular. Brasília, 4 de maio de 2011. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/cdcab.pdf>>. Acesso em 20-12-2011.
- [ABINEE], Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. Panorama Econômico e Desempenho Setorial. 2011. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/pan2011.pdf>>. Acesso em 03.jan.2012.
- [ABINEE], Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. Panorama Econômico e Desempenho Setorial. 2019. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/pan2019.pdf>>. Acesso em 03.jan.2012.
- [ABNT] Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 10004/04.
- [ABNT] Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 14040/09.
- [ABNT] Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 14044/09.
- [ABNT] Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 8.419. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos. São Paulo, 1984.
- ALMEIDA, Danilo Santos de. Ocorrência de Éteres Difenílicos Polibromados em Mexilhões Perna-Perna da Baía de Guanabara. PUC-Rio. Departamento de Química. Orientadora: Isabel Maria Neto da Silva Moreira. 2008. Disponível em: <http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2008/resumos/ctc/qui/qui_danilosantos_almeida.pdf>. Acessado em: 27-07-2012.

- [ANATEL], Agência Nacional de Telecomunicações. Consulta pública Nº50, de 21 de Dezembro de 2009.
- [ANATEL], Agência Nacional de Telecomunicações. Crescimento das comunicações móveis (1990-2011). Disponível em:
<<http://sistemas.anatel.gov.br/SMP/Administracao/Consulta/ConsolidadoDadadosMesaMes/tela.asp?SISQSmodulo=18940>>. Acesso em 10. jan.2011.
- [ANATEL], Agência Nacional de Telecomunicações. RESOLUÇÃO ANATEL Nº 190, de 29 de novembro de 1999. Regulamento para Uso de Redes de Serviços de Comunicação de Massa por Assinatura para Provimento de Serviços de Valor Adicionado.
- [ANATEL], Agência Nacional de Telecomunicações. RESOLUÇÃO ANATEL Nº 550, de 22 de novembro de 2010. Regulamento sobre Exploração de Serviço Móvel Pessoal – SMP por meio de Rede Virtual (RRV-SMP).
- [ANATEL], Agência Nacional de Telecomunicações. RESOLUÇÃO ANATEL Nº 477, 7 de agosto de 2007. Regulamento do Serviço Móvel Pessoal.
- ANTUNES, Paulo de Bessa. Direito Ambiental. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2011. 13ª ed.
- [ANVISA], Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Manual de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: ANVISA, 2006. Disponível em:<http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_gerenciamento_residuos.pdf>. Acessado em: 21-02-2012.
- [ATSDR], Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Bifenilos Polibromados y los Éteres de Bifenilos Polibromados. Setembro de 2002. Disponível em:
<http://www2.udec.cl/matpel/toxfaq_espanol/BIFENILOPOLIBROMADOS.pdf>. Acessado em 27-07-2012.
- BARBOSA, Jorge Fontes; ARAÚJO, Glória N. Freire & GOMES, Ailton. Estudo sobre o impacto de baterias de telefone celular no meio ambiente. Escola Politécnica, Departamento de Hidráulica e Saneamento - Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria, 1999.
<http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/monografias/mono_barbosa_e_araujo_e_gomes.pdf>. Acessado em 01-03-2012.

- BILLSTRÖM, Olof; Cederquist, Lars; Ewerbring, Magnus; Sandegren, Gunnar & Uddenfeldt, Jan. Fifty years with mobile phones - From novelty to no. 1 consumer product. Ericsson, 2006. Disponível em: <http://www.ericsson.com/res/thecompany/docs/publications/ericsson_review/2006/3_fifty_years.pdf>. Acesso em: 01-02-2012.
- BOLLINGER, L. Andrew. Growing cradle-to-cradle metal flow systems - An application of agent-based modeling and system dynamics to the study of global flows of metals in mobile phones. Thesis MSc Industrial Ecology Delft University of Technology, Leiden University, abril de 2010. Disponível em: <<http://iesashift.nl/wp-content/uploads/group-documents/5/1288088732-Bollinger-GR.pdf>>. Acessado em 23-03-2012.
- BOYLESTAD, Robert & NASHELSKY, Louis. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. 5ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Prentice Hall do Brasil, 1994.
- BRASIL. DECRETO Nº 6.514, de 22 de julho de 2008. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/D6514.htm>. Acessado em 22-07-2012.
- BRASIL. DECRETO Nº 7.404, de 23 de Dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acessado em 20-06-2012.
- BRASIL. LEI Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acessado em 20-06-2012.
- BRASIL. LEI Nº 9.472, de 16 de julho de 1997. Lei Geral das Telecomunicações.
- BRASIL. LEI Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm>. Acessado em 22-07-2012.

- BRASIL. LEI Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>.
Acessado em 20-06-2012.
- BUCHERT, Mattias & HAGELÜKEN, Christian. The mine above ground - Opportunities and challenges to recover scarce and valuable metals from EOL electronic devices. Janeiro de 2008. Öko-Institut e.V. Disponível em: <
http://ressourcenfieber.de/publications/presentations/Buchert_Hageluecken.pdf>. Acessado em 22-06-2012.
- BUCHERT, Mattias; SCHÜLER, Doris & BLEHER, Daniel. Critical Metals for Future Sustainable Technologies and their Recycling Potential. Öko-institut e.V. Julho de 2009. Disponível em: <
<http://oeko.de/oekodoc/1070/2009-129-en.pdf>>. Acessado em 22-06-2012.
- CASTELLS, Manuel & CARDOSO, Gustavo. A Sociedade em Rede, do Conhecimento à Ação Política. Conferência promovida pelo Presidente da República, 4 e 5 de Março de 2005, Centro Cultural de Belém. Disponível em:
<
http://www.cies.iscte.pt/destaques/documents/Sociedade_em_Rede_CC.pdf>. Acessado em 22-03-2012.
- [CDG], CDMA Development Group. 2Q 2011 CDMA Subscribers by The CDMA Development Group. Disponível em:
<
http://www.cdg.org/worldwide/report/112Q_cdma_subscriber_report.pdf>.
Acessado em 23-03-2012.
- CETELEM-BCN. O Observador - Brasil 2012. Desenvolvido pela Cetelem-BGN em parceria com a IPSOS–Public Affairs. Publicado em 22-03-2012. Disponível em:
<
http://www.cetelem.com.br/portal/Sobre_Cetelem/Observador.shtml>.
Acessado em: 23-03-2012.
- CROW, James Mitchell. O futuro incerto do touchscreen. Quarta-feira, 23 de fevereiro de 2011 - 09h50. Disponível em:
<
<http://info.abril.com.br/noticias/ti/o-futuro-incerto-do-touchscreen-23022011-3.shl?3>>. Acessado em 23-04-2012.

DANNORITZER, Cosima. The Light Bulb Conspiracy. Documentário, 2010.

Roteiro e realização: Cosima Dannoritzer. Produção executiva: Joan Úbeda & Patrice Barrat. Produção Davina Breillet. Companias de produção: Arte France; Article Z; Media 3.14; Televisió de Catalunya (TV3); Televisión Española (TVE).

DEL BEL, Diógenes. Política Nacional de Resíduos Sólidos: A Visão do Setor de Tratamento dos Resíduos. Seminário Hospitais Saudáveis. 19 novembro de 2010. Disponível em:

<<http://200.144.0.250/siteatual/pdf/shs/7BDiogenesDelBel.pdf>>. Acessado em 27-07-2012.

DIRETIVA 2012/19/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO.

Relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) (reformulação). Jornal Oficial da União Europeia de 24.7.2012. L 197/38.

Disponível em: <[http://eur-](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:0038:0071:PT:PDF)

[lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:0038:0071:PT:PDF](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:0038:0071:PT:PDF)>. Acessado em 28-08-2012.

[DNPM], Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral

2011. ISSN 0101 2053. Disponível

em:<https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=6350>. Acesso em 23-03-2012.

[EC], EUROPEAN COMMISSION. DIRECTIVE 2002/95/EC OF THE

EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS). Official Journal L 037 , 13/02/2003 P.

0019 - 0023. Disponível em: <[http://eur-](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002L0095:EN:HTML)

[lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002L0095:EN:HTML](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002L0095:EN:HTML)>. Acesso em: 23-03-2012.

[EC], EUROPEAN COMMISSION. DIRECTIVE 2002/96/EC OF THE

EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). Official Journal L

037 , 13/02/2003 P. 0024 - 0039. Disponível em: <[http://eur-](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002L0096:EN:HTML)

[lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002L0096:EN:HTML](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002L0096:EN:HTML)>. Acessado em:23-03-2012.

[EMPA] Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology. 2012.

Disponível em:<http://ewasteguide.info/material_composition>. Acessado em 22-06-2012.

- ERICSSON. White Paper. More than 50 billion connected devices. Fevereiro de 2011. Disponível em: <<http://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/wp-50-billions.pdf>>. Acessado em 23-03-2012.
- [FEAM], Fundação Estadual do Meio Ambiente. Diagnóstico da Geração de Resíduos Eletroeletrônicos no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, Junho de 2009.
- FERREIRA, Juliana Martins de Bessa & FERREIRA, Antônio Claudio. A sociedade da informação e o desafio da sucata eletrônica. Revista de Ciências Exatas e Tecnologia, Vol. 3, No 3, 2008. Disponível em <<http://sare.unianhanguera.edu.br/index.php/rcext/article/viewArticle/417>>. Acesso em 13.jan.2012.
- [FIESP], Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. Perguntas frequentes sobre Política Nacional de Resíduos Sólidos. FIESP, Departamento de Meio Ambiente. São Paulo: FIESP, junho de 2012. Disponível em: <<http://www2.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/perguntas-frequentes-sobre-politica-nacional-de-residuos-solidos-2/>>. Acessado em: 27-07-2012.
- FIORESE, Virgílio. Wireless: Introdução às Redes de Telecomunicação Móveis Celulares. Rio de Janeiro: Brasport, 2005.
- FISCHER-KOWALSKI, M.; Swilling, M.; von Weizsäcker, E.U.; Ren, Y.; Moriguchi, Y.; Crane, W.; Krausmann, F.; Eisenmenger, N.; Giljum, S.; Hennicke, P.; Romero Lankao, P.; Siriban Manalang, A. & Sewerin, S. Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth, A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel. ISBN: 978-92-807-3167-5. Disponível em: <http://www.unep.org/resourcepanel/decoupling/files/pdf/Decoupling_Report_English.pdf>. Acessado em 20-03-2012.
- GARCÉS, Daniel & SILVA, Uca. Guía de Contenidos Legales para lá Gestión de los Residuos Electrónicos. Centro de Derecho Ambiental. Facultad de Derecho. Universidad de Chile. Agosto de 2010. Disponível em: <<http://www.lixoeletronico.org/system/files/guia%20legal%2004%20%20FIN.pdf>>. Acessado em 03-06-2012.

- GHOSH, Arunabha; ZHANG, Jun; ANDREWS, J. G. & MUHAMED, Rias.
 Fundamentals of LTE. ISBN-10: 0137033117. ISBN-13: 9780137033119.
 Publisher: Prentice Hall. Copyright: 2011. Format: Cloth; 464 pp.
 Published: 23 Sep 2010. Disponível em:
http://media.techtarget.com/searchTelecom/downloads/SearchTelecom_Fundamentals_of_LTE_Chapter_1.pdf>. Acessado em:23-03-2012.
- [GSMA], GSM Association. Observatório Latino-Americano da Mobilidade 2011: Impulsionando o Desenvolvimento Econômico e Social através da Banda Larga Móvel. E estudo conjunto realizado entre a GSMA, a A.T. Kearney e a Wireless Intelligence. Londres, janeiro de 2012. Disponível em:
<http://www.gsma.com/documents/download-full-report-portugu-s-pdf-5-4-mb/21901>>. Acessado em 24-01-2012.
- GRAEDEL, T.E.; ALLWOOD, J.; BIRAT, J.-P.; RECK, B.K.; SIBLEY, S.F.; SONNEMANN, G.; BUCHERT, M. & HAGELÜKEN, C. UNEP (2011) Recycling Rates of Metals – A Status Report. A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. UNEP, 2011. Disponível em:
<http://www.unep.org/resourcepanel/Publications/Recyclingratesofmetals/tabid/56073/Default.aspx>>. Acessado em 21-01-2012.
- GREENPEACE. Basura Eletrônica: El Lado Tóxico de la Telefonía Móvil. Buenos Aires, março de 2010. Disponível em:
<http://www.greenpeace.org/argentina/es/informes/basura-electronica-el-lado-toxico-de-la-telefonía-movil/>>. Acessado em 22-03-2012.
- GROSSMAN, Elizabeth .Tackling high tech trash - The E-Waste Explosion and What We Can Do About It. Disponível em:
http://www.demos.org/sites/default/files/publications/High_Tech_Trash-Demos.pdf>. Acessado em 23-03-2012.
- GUEDES, Manuel Vaz. Bicentenário da Invenção da Pilha por Alessandro Volta. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, 2000. Disponível em:
http://paginas.fe.up.pt/histel/Volta_folheto2.pdf>. Acessado em: 21-02-2012.
- GUERRA, Sidney. Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro. Ed. Forense. 2012.
- HAGELÜKEN C. Opportunities and challenges to recover scarce and valuable metals from end-of-life electronics devices. 2008. Disponível em:
<http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=13136>>. Acessado em 23-03-2012.

- HAGELÜKEN C. & MESKERS C.E.M. The treasure in our trash - Opportunities and challenges to recover scarce and valuable metals from end-of-life electronics devices. Disponível em:
<<http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=13136>>. Acessado em 23-03-2012.
- HAGELÜKEN, Christian. Mobile Phone Recycling - Chances and challenges from a recycler's view. Umicore Precious Metals Refining. Geneva, April 5, 2006. Disponível em:
<<http://www.preciousmetals.umicore.com/PMR/Media/e-scrap/mobilePhoneRecycling.pdf>>. Acessado em 22-06-2012.
- HARL. Law for Recycling of Specified kinds of Home Appliances. Junho de 1998. Ministry of International Trade and Industry of Japan. Disponível em:<http://www.meti.go.jp/policy/kaden_recycle/en_cha/pdf/english.pdf>. Acessado em 27-07-2012.
- HAYKIN, Simon & MOHER, Michael. SISTEMAS MODERNOS DE COMUNICAÇÕES WIRELESS. São Paulo, Artmed, 2008.
- HESTER, R. E. & HARRISON, R. M. Electronic Waste Management - Design, Analysis and Application. Royal Society of Chemistry Publishing. Cambridge, UK. 2009.
- [IBGE], Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Série: POP300 - Revisão 2008 - Projeção da população do Brasil. Disponível em:
<<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP300&sv=35&t=revisao-2008-projecao-da-populacao-do-brasil>>. Acesso em 20-01-2012.
- INFORM, Inc. Electric Appliance Recycling in Japan. New York, NY , November 2003 — Page 3. Disponível em: <http://www.informinc.org/japanep.pdf>>. Acessado em 23-07-2012.
- [IPMI], International Precious Metals Institute. Environmentally Sound Management Used Mobile Telephones. Pensacola, FL USA. 2003. Disponível em:
<http://ipmi.org/pdf/IPMI_Guidance_Used_Mobile_Phones.pdf>. Acessado em 25-03-2012.
- [ITU], International Telecommunication Union. Disponível em:<<http://www.itu.int/osg/spu/ni/3G/technology/index.html#top>>. Acessado em 23-03-2012.

- JEREMIAH, Johnson; HARPER E. M.; LIFSET, Reid; & GRAEDEL T. E. Dining at the Periodic Table: Metals Concentrations as They Relate to Recycling. - Department. of Chemical Engineering, and Center for Industrial Ecology, School of Forestry and Environmental Studies, Yale University, Connecticut, USA. *Environmental Science and Technology*, 2007; 41: 1759-1765. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/51386642_Dining_at_the_periodic_table_metals_concentrations_as_they_relate_to_recycling?ev=srch_pub>. Acessado em 20-03-2012. (Apud McMANUS, Terrence J. Intel Corporation, private communication, 2006).
- JUN-HUIA, Zhang & HANGA, MIN. Eco-toxicity and metal contamination of paddy soil in an e-wastes recycling area. *Journal of Hazardous Materials*. Elsevier. Available online 1 November 2008. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/jhazmat>. Acessado em 07-07-2012.
- LEITE, Paulo Robert; LAVEZ, Natalie & SOUZA, Vivian Mansano de. O Papel da Logística Reversa no Reaproveitamento do “Lixo Eletrônico” – Um Estudo No Setor De Computadores. *Revista de Gestão Social e Ambiental - RGSA*, São Paulo, v.5, n.1, p. 15-32, jan./abr., 2011. ISSN: 1981-982X. Disponível:<http://www.revistargsa.org/ojs/index.php/rgsa/article/viewFile/15-32/pdf_11>. Acessado em: 07-07-2012.
- LEUNG, Anna O. W., DUZGOREN-AYDIN, Nursans, CHEUNG, K. C. & WONG, Ming H Heavy Metals Concentrations of Surface Dust from e-Waste Recycling and Its Human Health Implications in Southeast China. *Environmental Science & Technology* / VOL. 42, NO. 7, 2674–2680, 2008. American Chemical Society Published on Web 03/04/2008. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es071873x>>. Acessado em 12-07-2012.
- LIMA, Ludmilla de. E-lixo ganhará exército de catadores no Rio. *O Globo*. Quarta-feira, 23 de maio de 2012.
- LOUBET, Luciano Furtado. Logística Reserva (Responsabilidade Pós-Consumo) Frente ao Direito Ambiental Brasileiro – Implicações da Lei 12.305/2010. [2011]. Disponível em: <<http://www.mpambiental.org/?acao=doutrinas-pop&cod=151>>. Acessado em: 28-07-2012.

- LOURENÇO, Airton. Oxido de indio-estanho (ITO) : preparação e caracterização. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas. Campinas - SP, 1993. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000069814&d=y>>. Acesso em 19-02-2012.
- KANG, Hai-Yong & SCHOENUNG, Julie m. Electronic waste recycling: A review of U.S. infrastructure and technology options. Department of Chemical Engineering and Materials Science, University of California. Disponível em: <https://wiki.umn.edu/pub/ESPM3241W/S11TopicSummaryTeamOne/Electronic_waste_recyclingA_review_of_U.S._infrastructure_and_technology_options.pdf>. Acessado em 01-03-2012.
- MARCOVITCH, Jacques. Para mudar o futuro: mudanças climáticas, políticas públicas e estratégias empresariais. São Paulo: Ed. Da Universidade de São Paulo: Editora Saraiva, 2006.
- MARIMOTO, Carlos E. Hardware, o Guia Definitivo. Outubro de 2007 . Disponível em <<http://www.hardware.com.br/livros/hardware/ion.html>>. Acessado em 01-03-2012.
- [MCC], Microelectronics and Computer Technology Corporation. 1996. Electronics Industry Environmental Roadmap. Austin, TX: MCC.
- McMANUS, Terrence J. Intel Corporation, private communication, 2006.
- MDIC. 9ª Reunião do GTT-REEE's – Grupo de Trabalho Temático – Eletroeletrônicos. Brasília, 30/03/2012.
- MONTEIRO, José Henrique Penido et al. Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República – SEDU/PR. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acessado em: 21-02-2012.
- MOURAD, Anna Lúcia; GARCIA, Eloísa E.C. & VILHENA, André. Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e Aplicações. CETEA/CEMPRE. Campinas, 2002. ISBN-85-7029049-7.
- MURTHY, Venkatesha. Sustainable E-Waste Recycling Technologies. ISWA-WMRAS Technical Workshop 2010. 28th June 2010. Disponível em: <http://www.iswa.org/uploads/tx_iswaknowledgebase/r_2010_3.pdf>. Acessado em 22-06-2012.

- [NRC], Nokia Research Center. Nanotechnology: Big Potential in Tiny Substances. Fevereiro de 2008. Disponível em: <<http://press.nokia.com/wp-content/uploads/mediaplugin/doc/nrc-nanotechnology-background.pdf>>. Acessado em 21-05-2012.
- [OECD], Organisation for Economic Co-operation and Development. Critical Metals and Mobile Devices - ANNEXES. Mechelen, Belgica. October 2010. Disponível em: <<http://www.oecd.org/dataoecd/26/44/46133561.pdf>>. Acessado em 22-06-2012.
- [OECD], Organisation for Economic Co-operation and Development. Critical Metals and Mobile Devices . Mechelen, Belgica. October 2010. Disponível em: <<http://www.oecd.org/dataoecd/26/44/46133561.pdf>>. Acessado em 22-06-2012.
- OPPERMANN, Álvaro. O Drama do Entulho Eletrônico. Veja. Ano 44/nº 52. Dezembro de 2011.
- PAIXÃO, Renato Rodrigues & HONDA, Renato. Processadores INTEL. São Paulo: Érica, 1999.
- POULSEN, Frank Piasecki. Blood in the Mobile. Produção: Dinamarca/Alemanha. Duração: 82min. Ano: 2010. Site: <http://www.bloodinthemobile.org>. Acessado em 22-06-2012.
- PUCKETT et al. Exporting Harm: The High-Tech Trashing of Asia, [BAN] Basel Action Network, [SVTC] Silicon Valley Toxics Coalition. 25/02/2002, disponível em URL: <<http://www.svtc.org/cleancc/pubs/technotrash.pdf>>. Acessado em 07 de junho de 2012.
- QUALCOMM INCORPORATED. Evolução do HSPA+ Release 7 Para Banda Larga Móvel. Dezembro de 2007. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/pdfs/tutorialhspaplus.pdf>>. Acessado em 23-03-2012.
- RESOLUÇÃO CONAMA nº 401, de 4 de novembro de 2008.
- RESOLUÇÃO CONAMA Nº 257, de 30 de junho de 1999.
- ROCHA, Alcides & MENDES, Pedro. Evolução dos Circuitos Integrados. [2006]. Disponível em: <<http://evolucaoic.com.sapo.pt/TrabalhoPraticoTICEvolCircuitosIntegrados.pdf>>. Acessado em 23-03-2012.

RODRIGUES, Ângela Cassia. Impactos socioambientais dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: estudo da cadeia pós-consumo no Brasil. Dissertação (Mestrado) – Universidade Metodista de Piracicaba, Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Santa Bárbara d'Oeste, SP:[s.n.], 2007.

RODRIGUES, Antônio Fernando da Silva. Tantaló. DNPM, Departamento Nacional de Pesquisa Mineral. 2011. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3998>. Acessado em: 07-07-2012.

SÃO PAULO. LEI Nº 13.576, de 6 de julho de 2009. Institui normas e procedimentos para a reciclagem, gerenciamento e destinação final de lixo tecnológico. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/lei%20n.13.576,%20de%2006.07.2009.htm>>. Acessado em: 07-07-2012.

SARAIVA, André Luis. Construindo a Sustentabilidade à partir da PNRS e o Impacto Socioambiental por trás desta Ação. USP. Seminário: Política Nacional de Resíduos Sólidos - Diretrizes, Planos, Responsabilidades e Instrumentos. 27 de outubro de 2010. Disponível em: <http://www.participare.org.br/04_biblioteca/quadro_1/palestras_residuos.htm>. Acessado em 07-07-2012.

SCHLUEP, Mathias & HAGELUEKEN, Christian, et al. Recycling - From E-Waste To Resources. UNEP - United Nations Environment Program, Junho 2009. Disponível em: <<http://www.unep.fr/scp/publications/details.asp?id=DTI/1192/PA>>. Acesso em 20-12-2012.

SCHWARZER, S.; A. D. Bono, et al. E-waste, the hidden side of IT equipment's manufacturing and use. UNEP - United Nations Environment Program - Early Warning on Emerging Environmental Threats No. 5, janeiro de 2005. Disponível em: <http://www.grid.unep.ch/products/3_Reports/ew_ewaste.en.pdf>. Acesso em: 19-02-2012.

[SECO], Swiss State Secretariat for Economic Affairs. Valuable Substances in e-waste. Disponível em: <http://ewasteguide.info/node/220>>. Acessado em 03-03-2012.

- SHIGUE, Carlos Yujiro. Transistores. Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo - EEL USP - Departamento de Engenharia de Materiais. Disponível em:
<<http://www.demar.eel.usp.br/electronica/aulas/Transistor.pdf>>. Acessado em: 23-03-2012.
- SILVA, B. D.; OLIVEIRA, F. C. & MARTINS, D. L. Resíduos Eletroeletrônicos no Brasil, Santo André, 2007. disponível em:
<http://lixoeletronico.org/system/files/lixoeletronico_02.pdf>. Acessado em 12-02-2012.
- SITÔNIO, Aleksandro Cavalcanti. Princípio do Protetor Recebedor na Lei dos Resíduos Sólidos. Artigo de 06 de novembro de 2010. Disponível em:
<www.observatorioeco.com.br>. Acessado em: 28-07-2012.
- SOUZA, M. T. S.; SANTOS, C. C. & LIMA, M. C. F. Um estudo sobre o impacto ambiental da inovação tecnológica no setor de telecomunicações. IX ENGEMA - ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, CURITIBA, 19 a 21 de novembro de 2007. Disponível em: <<http://engema.up.edu.br/arquivos/engema/pdf/PAP0232.pdf>>. Acessado em: 23-02-2012.
- [STEP], Solving the E-Waste Problem. Annual Report, 2010. Disponível em:
<http://www.step-initiative.org/pdf/annual-report/Annual_Report_2010.pdf>. Acessado em 20-03-2012.
- SULLIVAN, D. E. Recycled Cell Phone - Treasure Trove of Valuable Metals. U.S. Geological Survey. Julho de 2006. Disponível em:
<<http://pubs.usgs.gov/fs/2006/3097/fs2006-3097.pdf>>. Acessado em: 22-03-2012.
- SVERZUT, José Umberto. Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS: Evolução a Caminho da Terceira Geração 3G. 1ª edição. São Paulo: Ed. Érica, 2005.
- TELEBRÁS. Curso Telefonía Móvel. Apostila. 1995.
- [TELEBRASIL], Associação Brasileira de Telecomunicações. O Desempenho do Setor de Telecomunicações no Brasil - Séries Temporais. Rio de Janeiro. Novembro de 2011. Disponível em: <http://www.telebrasil.org.br/saiba-mais/O_Desempenho_do_Setor_de_Telecom_Series_Temporais_3T11.pdf>. Acesso em 12-01-2012.
- [TELEBRASIL], Associação Brasileira de Telecomunicações. Telebrasil 30 anos de sucesso e realizações. Rio de Janeiro: TELEBRASIL, 2004. 162 p.:il. Disponível em: <<http://www.telebrasil.org.br/arquivos/revista-30anos-telebrasil-2.pdf>>. Acesso em: 21-01-2012.

- TRINDADE, Rafael Heleno Ladeira. Estudo das características de baterias recarregáveis possíveis de serem utilizadas no projeto Satélite Universitário, ITASAT. 12º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA – XII ENCITA / 2006 Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, Brasil, Outubro, 16 a 19, 2006. Disponível em : <<http://www.bibl.ita.br/xiencita/ELE-12.pdf>>. Acessado em : 01-03-2012.
- U.S. CENSUS BUREAU. International Data Base - Total Midyear Population for the World: 1950-2050. Disponível em: <<http://www.census.gov/population/international/data/idb/worldpoptotal.php>>. Acesso em: 19-02-2012.
- [USGS] U.S. Geological Survey. Obsolete Computers, “Gold Mine,” or High-Tech Trash? Resource Recovery from Recycling. 2001. Disponível em:<<http://pubs.usgs.gov/fs/fs060-01/fs060-01.pdf>>. Acessado em 23-03-2012.
- UMICORE Brasil. Manual de Reciclagem do Lixo Eletrônico. 2012. Disponível em: <<http://www.umicore.com.br/quemSomos/manualUmicore/>>. Acessado em 22-06-2012.
- UNEP. Lead & Cadmium Home Page. Disponível em: <<http://www.unep.org/hazardoussubstances/Home/tabid/197/hazardoussubstances/LeadCadmium/tabid/29372/Default.aspx>>. Acessado em: 24-02-2012.
- UNEP/BASEL Convention. Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal. Geneva. Julho de 2011. UNEP/SBC/2011/4. Disponível em: <<http://www.basel.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/1275/Default.aspx>>. Acessado em 01-06-2012.
- UNEP/BASEL Convention. Guidance document on the environmentally sound management of used and end-of-life mobile phones. Prepared by the Mobile Phone Working Group. June 30, 2010. Revised: January 20, 2011. UNEP/CHW.10/INF/27.
- UNEP/BASEL Convention. Information Note: Mobile Phone Partnership Initiative. Disponível em: <<http://archive.basel.int/pub/leaflets/leafMPPI.pdf>>. Acessado em: 21-02-2012.

- WALDMAN, Maurício. Lixo e Economia: a fantasia do resíduo brasileiro emergente. Texto de subsídio para a assessoria realizada no Encontro Nacional de Formação da Comissão Pastoral de Terra (CPT) Hidrolândia (GO): Ecologia dos Pobres e Ecofeminismo. 17 a 20-10-2011. Disponível em: <http://www.mw.pro.br/mw/geog_lixo_e_economia.pdf>. Acessado em 22-03-2012.
- WALDMAN, Maurício. Lixo Eletrônico: Resíduo Novo e Complexo. Paper apresentado no II Forum Municipal de Lixo e Cidadania, Poços de Caldas (MG). 2007. Disponível em: <http://www.mw.pro.br/mw/eco_lixo_eletronico.pdf>. Acessado em 22-03-2012.
- WIZIACK, Júlio & FUSCO, Camila. Celulares clandestinos já são 20% do total. Folha de São Paulo, São Paulo, segunda-feira, 14 de fevereiro de 2011. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/mercado/me1402201102.htm>>. Acesso em 23-03-12.
- ZIGLIO, Luciana. Convenção de Basiléia e o destino dos resíduos industriais no Brasil. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Geografia Humana da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.
- ZMOGINSKI, Felipe. Carregador universal de celular é micro-USB. INFO Online. Domingo, 25 de outubro de 2009 - 12h01. Disponível em: <<http://info.abril.com.br/noticias/tecnologia-pessoal/carregador-universal-de-celular-e-micro-usb-25102009-2.shl>>. Acessado em 23-04-2012.

7 GLOSSÁRIO

ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AEHA	Association for Electric Home Appliances
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ATSDR	Agency for Toxicity Substances and Disease Registry
BTS	Base Transmission System
CEMPRE	Compromisso Empresarial para a Reciclagem
CETESB	Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRT	Cathode ray tube
EC	European Commission
EEE	Equipamentos elétricos e eletrônicos
ERB	Estação de rádio base
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EUA	Estados Unidos da América
E-Waste	Electronic Waste
HARL	Home Appliances Recycling Law
GED	Grandes Eletrodomésticos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LCD	Liquid Crystal Display
MCC	Microelectronics and Computer Technology Corporation.
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
PBB	Polybrominated biphenyl
PBDE	Polybrominated difenil eter
PCI	Placa de Circuito Impresso
PED	Pequenos eletrodomésticos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
REEE	Resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos
RF	Radiofrequência
RoHS	Restriction of the use of certain Hazardous Substances

SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
STEP	Solving the E-Waste Problem
SVTC	Silicon Valley Toxics Coalition
TIC	Tecnologias da Informação e da Comunicação
UE	União Europeia
UNEP	United Nations Environmental Program
WEEE	Waste of Electric and Electronic Equipment

APÊNDICE I - PRINCIPAIS GRUPOS DE METAIS

A identificação dos principais grupos de metais é melhor visualizável na própria tabela periódica de elementos químicos, conforme a Figura 45. Eles são definidos mais ou menos de acordo com a nomenclatura popular, por exemplo, os metais ferrosos incluem aqueles utilizados predominantemente na fabricação de aço. No entanto, nem todos os elementos se encaixam unicamente em um dos quatro grupos, por exemplo, o telúrio [Te] poderia ser igualmente bem incluído nos metais ferrosos tanto quanto está nos metais especiais. Os agrupamentos de metal descritos por GRAEDEL et al (2011) como:

- Metais especiais – Os metais especiais estão tipicamente presentes em pequenas quantidades em produtos industriais e de consumo por suas características físicas e propriedades químicas. A utilização desse tipo de metal é cada vez mais relacionada com a alta tecnologia;
- Metais Preciosos – Os metais preciosos foram historicamente valorizados pela sua relação com a riqueza e com o status social, mas são cada vez mais utilizados em produtos tecnologicamente avançados devido às suas características condutoras e alta resistência à corrosão.
- Metais Não Ferrosos – Os metais não ferrosos não contêm ferro ou se ele está presente, é em pequenas quantidades apenas como elemento de liga.
- Metais Ferrosos - Os metais ferrosos são predominantemente baseados em ferro e na maior parte são magnéticos.

1 H																	2 He	
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Sg	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uug	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo	
		↓																
* Lantanídeos		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
** Actinídeos		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr		
		<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> Especiais</div> <div style="display: flex; align-items: center;"> Preciosos</div> <div style="display: flex; align-items: center;"> Não-ferrosos</div> <div style="display: flex; align-items: center;"> Ferrosos</div> </div>																

Figura 45 - Agrupamento de metais

APÊNDICE II - SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS DOS EEE

O lixo eletroeletrônico representa uma ameaça ao meio ambiente e a saúde dos seres humanos. A reciclagem dos telefones celulares, PDAs, pagers, câmeras digitais e todos os outros equipamentos eletroeletrônicos podem ajudar a minimizar os impactos que os resíduos sólidos urbanos causam ao meio ambiente quando dispostos de maneira errônea.

Estudos têm mostrado consistentemente que o lixo eletroeletrônico é carregado de substâncias poluidoras e que oferecem perigo. Algumas delas seguem abaixo.

Em teoria, os metais podem ser utilizados repetidas vezes, minimizando a necessidade de extrair e processar materiais virgens, assim economizando quantidades substanciais de energia e água enquanto minimiza a degradação ambiental. Aumentar os níveis de reciclagem em todo o mundo pode portanto, contribuir para uma economia com baixo teor de carbono.

Substância	Utilização
Alumínio	<ul style="list-style-type: none"> - Gabinetes; - Estruturas; - CRT; - PCI; - Conectores.
Efeito nocivo à saúde humana	
<p>- Alguns autores sugerem existir relação da contaminação crônica do alumínio como um dos fatores ambientais da ocorrência de mal de Alzheimer.</p>	
Efeito nocivo ao meio ambiente	
<p>- Solos ricos em alumínio são ácidos e as plantas adaptadas nestes solos armazenam certa quantidade deste metal, como no Ecossistema do Cerrado; - Algumas plantas podem ter suas funções vitais afetadas (absorção pela raiz).</p>	
Referências	
(SILVA et al, 2007).	

Substância	Utilização
Antimônio	- Produção de baterias, semicondutores, ligas e soldas; - Aditivo do BFR (brominated flame retardant) em forma de trióxido de antimônio.
Efeito nocivo à saúde humana	
<ul style="list-style-type: none"> - Inibição de enzimas; - Cancerígeno (trióxido de antimônio); - Efeito bioacumulativo; - fatal em grandes doses. 	
Efeito nocivo ao meio ambiente	
- Elemento altamente tóxico e cumulativo. Por ter sido usado em dose excessiva em brinquedos e têxteis, ao serem descartados no meio ambiente, esses se tornam perigosos.	
Referências	
(FEAM, 2009).	

Substância	Utilização
Arsênio	- Semicondutores, circuitos integrados, ligas e transistor.
Efeito nocivo à saúde humana	
<ul style="list-style-type: none"> - Pode prejudicar o sistema nervoso; - Pode ser acumulado no fígado, rins, trato gastrintestinal, baço, pulmões, ossos, unhas; - dentre os efeitos crônicos: anormalidades cromossômicas e efeitos teratogênicos (qualquer agente capaz de produzir dano ao ser vivo durante a vida embrionária ou fetal); - Inibição de enzimas; - Aumenta riscos de câncer na bexiga, rins, pele, fígado, pulmão e cólon. 	
Efeito nocivo ao meio ambiente	
- Doses extremamente baixas desse elemento, como uma parte por milhão na água ou sete partes por milhão no solo, são suficientes para afetar a saúde de plantas e animais, inclusive a humana.	
Referências	
(FERREIRA & FERREIRA, 2008); (SILVA et al, 2007); (FEAM, 2009).	

Substância	Utilização
Bário	- Lâmpadas fluorescentes e tubos de raios catódicos (painel frontal).
Efeito nocivo à saúde humana	
<ul style="list-style-type: none"> - Extremamente tóxico; - Edema cerebral; - Fraqueza muscular; - Danos ao coração, fígado e baço; - Provoca danos ao coração, constrição dos vasos sanguíneos, elevação da pressão arterial e efeitos no sistema nervoso central. 	
Efeito nocivo ao meio ambiente	
- O hidróxido de bário apresenta os mesmos perigos que outras bases fortes e, como os vários compostos de bário solúveis, é corrosivo e é tóxico. Não é encontrado livre na natureza, devido à sua alta reatividade.	
Referências	
(FERREIRA & FERREIRA, 2008); (SILVA et al, 2007); (FEAM, 2009).	

Substância	Utilização
Berílio	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizado em computadores e celulares; - Ligas de cobre; - Partes mecânicas, conectores e molas; - Relés.
Efeito nocivo à saúde humana	
<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilização devido a constante exposição, mesmo a quantidades pequenas; - Enfisema e fibrose em pulmões; - Cancerígeno, principalmente para os pulmões; - Exposição extrema pode levar a uma condição potencialmente fatal conhecida como Doença Aguda do Berílio. 	
Efeito nocivo ao meio ambiente	
- O berílio é classificado como metal alcalino-terroso presente tanto nos solos como em minérios.	
Referências	
(FERREIRA & FERREIRA, 2008); (FEAM, 2009).	

Substância	Utilização
BRT (Retardantes de chamas) ou BFR (Brominated flame retardant)	<ul style="list-style-type: none"> - Usado para prevenir incêndios em diversos eletrônicos; - São aplicados em placas de circuitos e carcaças plásticas.
Efeito nocivo à saúde humana	
<ul style="list-style-type: none"> - A exposição constante a este composto pode acarretar problemas no sistema nervoso como memória e aprendizagem; - Pode interferir na tireoide e no sistema hormonal do estrogênio; - A exposição fetal pode gerar problemas de comportamento. 	
Efeito nocivo ao meio ambiente	
<ul style="list-style-type: none"> - Não se decompõem facilmente e se acumulam no meio ambiente. 	
Referências	
(FERREIRA & FERREIRA, 2008); (GREENPEACE,2010).	

Substância	Utilização
Cádmio	<ul style="list-style-type: none"> - Computador, monitores CRT e PCI; - Utilização como estabilizador de PVC; - Utilizado nas baterias recarregáveis, nos contatos e nos switches. O consumo de cádmio refinado (81 por cento do total utilizado em 2004) é representada por baterias de NiCd ; - Interruptores; - Utilizado em solda, semicondutores, detectores de infravermelho e resistores; - Materiais fluorescentes.
Efeito nocivo à saúde humana	
<ul style="list-style-type: none"> - O cádmio é altamente tóxico e afeta principalmente os rins e o esqueleto. É também um agente cancerígeno por inalação; - O cádmio é acumulado nos ossos e pode servir como uma fonte de exposição mais tarde na vida, quando ele começa a ser liberado; - Efeitos irreversíveis à saúde humana; - Acumula-se especialmente nos rins, e neles tem meia vida de 30 anos, podendo deteriorá-los, mas também pode alojar-se no fígado, pulmões, pâncreas, testículos e coração; - Pode causar câncer quando cloreto de cádmio; - Aumenta a pressão sanguínea; - Pode causar problemas e câncer nos pulmões; - Exposição repetida pode danificar o fígado; - Manifestações digestivas (náusea, vômito, diarreia); - Disfunção renal; - Efeitos teratogênicos (deformação fetal). 	
Efeito nocivo ao meio ambiente	
<ul style="list-style-type: none"> - Pode acumular-se no meio ambiente; - Efeitos cumulativos no ambiente devido à toxicidade aguda e crônica; - É tóxico para plantas, animais e microrganismos; - Produção e operações de reciclagem ineficientes liberam quantidades consideráveis de chumbo e cádmio para o meio ambiente e podem causar impactos na saúde humana. 	
Referências	
(FERREIRA & FERREIRA, 2008); (GREENPEACE, 2010); (UNEP, 2012); (MONTEIRO, 2001); (SILVA et al, 2007); (RODRIGUES, 2007).	

Substância	Utilização
Chumbo	<ul style="list-style-type: none"> - O principal uso do chumbo é em baterias para armazenamento de energia (78 por cento de relatos de consumo global em 2003); - Soldagem de placas de circuitos impressos; - Vidro dos tubos de raios catódicos e das lâmpadas elétricas e fluorescentes; - Soldas de circuitos eletrônicos.
Efeito nocivo à saúde humana	
<ul style="list-style-type: none"> - É o mais tóxico dos elementos; - O chumbo é um metal pesado com efeitos tóxicos agudos e crônicos, à saúde humana, mesmo em níveis muito baixos de exposição; - Acumula-se nos ossos, cabelos, unhas, cérebro, fígado e rins; - Seus efeitos tóxicos podem atingir diversos órgãos e sistemas do corpo humano e causar problemas neurológicos, cardiovasculares, renais, gastrointestinais, efeitos hematológicos e reprodutivos; - Pode causar convulsões, retardo, pressão arterial alta, dores abdominais (cólica, espasmo e rigidez), dores de cabeça, disfunção renal, anemia, problemas pulmonares, neurite periférica (paralisia), encefalopatia (sonolência, manias, delírio, convulsões e coma); - Foram também observados efeitos no sistema endócrino; - Afeta o desenvolvimento da criança. 	
Efeito nocivo ao meio ambiente	
<ul style="list-style-type: none"> - É tóxico para plantas, animais e microrganismos; - Produção e operações de reciclagem ineficientes liberam quantidades consideráveis de chumbo e cádmio para o meio ambiente e podem causar impactos ao meio ambiente e, por final, na saúde humana. 	
Referências	
(FERREIRA & FERREIRA, 2008); (UNEP, 2012); (MONTEIRO, 2001); (RODRIGUES, 2007); (SILVA et al, 2007).	

Substância	Utilização
Cobre	<ul style="list-style-type: none"> - Presente em praticamente todos os EEE com função de conduzir a corrente elétrica.
Efeito nocivo à saúde humana	
<ul style="list-style-type: none"> - Intoxicações como lesões no fígado (cirrose). 	
Efeito nocivo ao meio ambiente	
Não Identificado.	
Referências	
(SILVA et al, 2007); (FEAM, 2009).	

Substância	Utilização
Compostos de Cromo Hexavalente e Cromo VI	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizados em coberturas de metal; - Superfícies decorativas; - Pigmentos e coberturas; - Aço inoxidável.
Efeito nocivo à saúde humana	
<ul style="list-style-type: none"> - Altamente tóxicos e carcinogênicos; - Irritação do nariz, garganta e pulmões; - Dano permanente em olhos devido ao seu contato direto com o ácido crômico ou poeiras cromadas; - Dermatites e úlceras na pele devido a efeito prolongado com a pele; - Sensibilização ao cromo; - Problemas no fígado. 	
Efeito nocivo ao meio ambiente	
Não Identificado.	
Referências	
(GREENPEACE,2010); (FEAM, 2009).	

Substância	Utilização
Cromo	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricação de gabinete e revestimentos metálicos.
Efeito nocivo à saúde humana	
<p>- Armazena-se nos pulmões, pele, músculos e tecido adiposo, pode provocar anemia, alterações hepáticas e renais, além de câncer do pulmão. Após contato pelo homem de forma oral, nasal ou dermal, ocorrem vômitos, diarreias, choque cardiovascular e perda de sangue no trato intestinal. Esses sintomas de envenenamento por cromo surgem nas primeiras 24 horas. Outros sintomas: rinite, sinusite crônica, atrofia da mucosa nasal e alterações da pele. O consumo continuado com água contaminada provoca lesões hepáticas e renais. É carcinogênico para os órgãos respiratórios.</p>	
Efeito nocivo ao meio ambiente	
<p>- O Cromo existente no meio ambiente é quase todo proveniente da atividade humana. É produto de emissões de fábricas de cimento, galvanizadas, fundições, soldagem, mineração de cobre, lixo urbano, incineração e principalmente curtumes de couro. O Cromo se acumula nas guelras, brônquios, vísceras, coração, pele, escamas e músculos, além disso, protozoários, fungos e bactérias, são capazes de absorvê-lo. O Cromo ataca também as plantas ficando retido em suas raízes. No solo é absorvido em terra argilosa e em partículas de materiais orgânicos.</p>	
Referências	
(SILVA et al, 2007).	

Substância	Utilização
Lítio	- Baterias.
Efeito nocivo à saúde humana	
<ul style="list-style-type: none"> - Pode ocasionar faltas respiratórias, depressão do miocárdio, edema pulmonar e estupor profundo. No caso de inalação ocorrerá lesão mesmo com pronto atendimento; - Em caso de ingestão as lesões serão mínimas mesmo se nenhum tratamento for aplicado. 	
Efeito nocivo ao meio ambiente	
- Afetam o solo, animais e micro-organismos..	
Referências	
(GREENPEACE,2010), (MONTEIRO, 2001).	

Substância	Utilização
Manganês	- Estruturas e magnetismo.
Efeito nocivo à saúde humana	
<ul style="list-style-type: none"> - Disfunção do sistema neurológico; - Afeta o cérebro; - Gagueira e insônia. 	
Efeito nocivo ao meio ambiente	
Não Identificado.	
Referências	
(MONTEIRO, 2001).	

Substância	Utilização
Mercúrio	<ul style="list-style-type: none"> - Pode ser encontrado em baterias, placas de circuito termostatos, sensores, relês e interruptores (por exemplo, em placas de circuitos impressos e em equipamento de medição e lâmpadas de descarga); -É utilizado em: Computadores, monitores, equipamentos médicos e de telecomunicações, como telefones celulares; - Só na União Europeia são utilizadas 300 toneladas de mercúrio em sensores de presença. Estima-se que 22% do mercúrio consumido anualmente sejam utilizados em EEE´s.
Efeito nocivo à saúde humana	
<ul style="list-style-type: none"> - Atravessa facilmente as membranas celulares, sendo prontamente absorvido pelos pulmões, possui propriedades de precipitação de proteínas (modifica as configurações das proteínas) sendo grave suficiente para causar um colapso circulatório no paciente, levando a morte. É altamente tóxico ao homem, sendo que doses de 3g a 30g são fatais, apresentando efeito acumulativo e provocando lesões cerebrais, além de efeitos de envenenamento no sistema nervoso central e teratogênicos; - Pode causar danos ao sistema nervoso central, particularmente nas etapas iniciais do desenvolvimento da criança; - Mercúrio pode causar: gengivite, salivação, diarreia (com sangramento), dores abdominais (especialmente epigástrico, vômitos, gosto metálico), congestão, inapetência, indigestão, dermatite, elevação da pressão arterial, estomatites (inflamação da mucosa da boca), ulceração da faringe e do esôfago, lesões renais e no tubo digestivo, insônia, dores de cabeça, colapso, delírio, convulsões, lesões cerebrais e neurológicas provocando desordens psicológicas afetando o cérebro. 	
Efeito nocivo ao meio ambiente	
<ul style="list-style-type: none"> - O metil mercúrio acumula-se facilmente nos organismos vivos e concentra-se através da cadeia alimentar por via dos peixes. - Utilizado largamente nos garimpos de ouro, contamina as águas e, por conseguinte os peixes, que fazem parte da cadeia alimentar. 	
Referências	
<p>(FERREIRA & FERREIRA, 2008); (MONTEIRO, 2001); (GREENPEACE,2010); (SILVA et al, 2007); (RODRIGUES, 2007).</p>	

Substância	Utilização
Níquel	- São utilizados em baterias níquel cádmio e hidróxido de níquel e, também, em liga de aço.
Efeito nocivo à saúde humana	
<ul style="list-style-type: none"> - O níquel é considerado tóxico se encontrada em compostos de níquel inorgânico na sua forma oxidada, sulfato ou solúvel; - Provável carcinogênico (atua diretamente na mutação genética) e causador de efeitos teratogênicos sobre o sistema respiratório; - Pode causar dermatite. 	
Efeito nocivo ao meio ambiente	
- Estudos mostram que algumas plantas podem acumular níquel. Os alimentos são as principais fontes de exposição ao níquel.	
Referências	
(GREENPEACE,2010); (MONTEIRO, 2001); (SILVA et al, 2007); (RODRIGUES, 2007).	

Substância	Utilização
PBB (bifenilas polibromadas) e PBDE (éteres difenílicos polibromados)	- Uso regular nos EEE para proteção contra a inflamabilidade, o que constitui a principal utilização destas substâncias. - Os 5-BDE, 8-BDE e 10-BDE são mais utilizados em: PCI, conectores, coberturas de plástico, como dos televisores, nos eletrodomésticos de cozinha e nos cabos.
Efeito nocivo à saúde humana	
São desreguladores endócrinos.	
Efeito nocivo ao meio ambiente	
<ul style="list-style-type: none"> - Sua liberação para o ambiente se dá no processo de reciclagem dos plásticos componentes dos equipamentos; - Uma vez libertados no ambiente, os PBB podem atingir a cadeia alimentar, onde se acumulam. Foram detectados PBB em peixes de várias regiões. A ingestão de peixe é um meio de transferência de PBB para os mamíferos e para as aves. Não foi registrada qualquer assimilação nem degradação dos PBB pelas plantas. 	
Referências	
(RODRIGUES, 2007).	

Substância	Utilização
PVC	- É um plástico que contém Cloro e é utilizado como isolante elétrico em cabos e fios.
Efeito nocivo à saúde humana	
<ul style="list-style-type: none"> - Se inalado, pode causar problemas respiratórios; - Desregula as funções endócrinas; - Prejudica o sistema reprodutivo nervoso e imunológico, além de causar morte do feto e aborto espontâneo, e quando não, diminuição do seu peso ao nascer bem como da inteligência; - Provoca câncer no fígado, trato intestinal, pâncreas, pulmões, mamas e outros. 	
Efeito nocivo ao meio ambiente	
<ul style="list-style-type: none"> - Quando queimados liberam furanos e dioxinas que são altamente tóxicos mesmo em concentrações muito baixas; - Causa aumento de deformidades, morte de embriões, feminilização de machos, infertilidade e modos anormais nos cuidados com as crias. Foi observado o afinamento nas cascas dos ovos do falcão peregrino. 	
Referências	
(FERREIRA & FERREIRA, 2008); (GREENPEACE,2010).	

Substância	Utilização
Tálio	- Fabricação de dispositivos eletrônicos, de interruptores.
Efeito nocivo à saúde humana	
<ul style="list-style-type: none"> - A exposição a níveis mais elevados do tálio pode ocorrer em locais de trabalho; -Níveis elevados no ar podem resultar em efeitos no sistema nervoso. Sua ingestão em níveis elevados resulta em vômitos, diarreia e perda provisória do cabelo. 	
Efeito nocivo ao meio ambiente	
Não Identificado.	
Referências	
(DNPM, 2011).	

Substância	Utilização
Zinco	- Baterias e circuitos eletrônicos.
Efeito nocivo à saúde humana	
<ul style="list-style-type: none"> - Pode causar problemas pulmonares com lesão residual, a menos que seja dado atendimento imediato; - Em contato com os olhos causa lesão grave, mesmo com pronto atendimento; - Causa indisposição. 	
Efeito nocivo ao meio ambiente	
<ul style="list-style-type: none"> - A existência de elevadas doses desse elemento pode afetar a produtividade dos solos; - O efeito mais tóxico é sobre os peixes e algas (conhecido); experiências com outros organismos são escassas. 	
Referências	
(GREENPEACE,2010); (SILVA et al, 2007); (MONTEIRO, 2001).	

ANEXO I - CLASSIFICAÇÃO DOS EEE PELA WEEE-ROHS

1. Grandes eletrodomésticos

- Grandes aparelhos de arrefecimento;
- Frigoríficos;
- Congeladores;
- Outros aparelhos de grandes dimensões para refrigeração, conservação e armazenamento de alimentos;
- Máquinas de lavar;
- Secadores de roupa;
- Máquinas de lavar louça;
- Fogões;
- Fornos elétricos;
- Placas de fogão elétricas;
- Microondas;
- Outros aparelhos de grandes dimensões utilizados para cozinhar ou transformar alimentos;
- Aparelhos de aquecimento elétricos;
- Radiadores elétricos;
- Outros aparelhos de grandes dimensões para aquecimento;
- Ventoinhas elétricas;
- Aparelhos de ar condicionado;
- Outros aparelhos de ventilação, ventilação de exaustão e condicionamento.

2. Pequenos eletrodomésticos

- Aspiradores;
- Aparelhos de limpeza;
- Outros aparelhos de limpeza;
- Aparelhos utilizados na costura e outras formas de transformar têxteis;
- Ferros de engomar e outros aparelhos para engomar e tratar do vestuário;
- Torradeiras;
- Fritadeiras;
- Moinhos, máquinas de café e aparelhos para abrir ou fechar recipientes ou embalagens;
- Facas elétricas;
- Aparelhos para cortar o cabelo, secadores de cabelo, escovas de dentes elétricas, máquinas de barbear, aparelhos de massagem e outros aparelhos para cuidado do corpo;
- Relógios de sala, de pulso e aparelhos para medir, indicar ou registrar o tempo;
- Balanças.

3. Equipamentos de informática e telecomunicações

- Processamento de dados;
- Macrocomputadores (mainframes);

- Minicomputadores;
- Unidades de impressão;
- Equipamentos de informática pessoais;
- Computadores pessoais;
- Computadores portáteis;
- Impressoras;
- Copiadoras;
- Máquinas de escrever;
- Calculadoras;
- Outros produtos e equipamentos para armazenar, apresentar ou comunicar informações por via eletrônica;
- Sistemas e terminais;
- Telecopiadoras;
- Telex;
- Telefones;
- Postos telefônicos públicos;
- Telefones sem fio;
- Telefones celulares;
- Respondedores automáticos;
- Outros produtos ou equipamentos para transmitir som, imagens ou outras informações por telecomunicação.

4. Equipamentos de consumo

- Aparelhos de rádio;
- Aparelhos de televisão;
- Câmaras de vídeo;
- Gravadores de vídeo;
- Gravadores hi-fi;
- Amplificadores de áudio;
- Instrumentos musicais;
- Outros produtos e equipamentos para gravar ou reproduzir o som ou a imagem, incluindo sinais ou outras tecnologias de som e imagem que não por via de telecomunicação.

5. Equipamentos de iluminação

- Aparelhos de iluminação para lâmpadas fluorescentes, com exceção dos aparelhos de iluminação doméstica;
- Lâmpadas fluorescentes clássicas;
- Lâmpadas fluorescentes compactas;
- Lâmpadas de descarga de alta intensidade, incluindo lâmpadas de sódio sob pressão;
- Lâmpadas de sódio de baixa pressão;
- Outros equipamentos de iluminação ou destinados a difundir ou controlar a luz, com exceção das lâmpadas incandescentes.

6. Ferramentas elétricas e eletrônicas (com exceção de ferramentas industriais fixas de grandes dimensões)

- Furadeiras;
- Serras;
- Máquinas de costura;

- Equipamentos para tornejar, lixar, serrar, tosar, bocar, furar, dobrar ou para procesos similares de tratamento de madeira, metal e outros materiais;
- Ferramentas para rebitar, pregar ou aparafusar ou remover rebites, pregos ou parafusos ou para usos semelhantes;
- Ferramentas para soldar ou uso semelhantes;
- Equipamento para pulverizar, dispersar ou para tratamento de substâncias líquidas ou gasosas por outros meios;
- Ferramentas para atividades de jardinagem.

7. Brinquedos e equipamentos de lazer e esporte

- Conjuntos de comboios elétricos ou de pistas de carros de corridas;
- Jogos de vídeo;
- Computadores para ciclismo, mergulho, corrida, remo etc;
- Equipamentos esportivos com componentes elétricos ou eletrônicos;
- Caça-níqueis.

8. Aparelhos médicos (com exceção de todos produtos implantados e infectados)

- Equipamentos de radioterapia;
- Equipamentos de cardiologia;
- Equipamentos de diálise;
- Ventiladores pulmonares;
- Equipamentos de medicina nuclear;
- Equipamentos de laboratório para diagnóstico in vitro;
- Analisadores;
- Congeladores;
- Testes de fertilização;
- Outros aparelhos para detectar, evitar, controlar, tratar, aliviar doenças, lesões ou deficiências.

9. Instrumentos de monitoração e controle

- Detectores de fumo;
- Reguladores de aquecimento;
- Termostatos;
- Aparelhos de medição, pesagem ou regulação para uso doméstico ou laboratorial;
- Outros equipamentos de controle e comando utilizados em instalações industriais.

10. Distribuidores automáticos

- Distribuidores automáticos de bebidas quentes;
- Distribuidores automáticos de garrafas ou latas quentes ou frias;
- Distribuidores automáticos de produtos sólidos;
- Distribuidores automáticos de dinheiro;
- Todos aparelhos que forneçam automaticamente todos os tipos de produtos.

ANEXO II – SUBSTÂNCIAS NOS TELEFONES MÓVEIS

Os dados apresentados abaixo são uma adaptação do material apresentado no “*Guidance document on the environmentally sound management of used and end-of-life mobile phones*” (UNEP/BASEL, 2011), em seu Anexo II.

Substâncias encontradas em Telefones Móveis		
Constituintes primários		
Nome da Substância	Localização no telefone móvel	% encontrado no aparelho incluindo a bateria
Plásticos	Gabinete, PCI	~40%
Vidro e Cerâmica	LCD, telas e chips	~20%
Cobre	PCI, fios, conectores e baterias	~10%
Níquel	Baterias de NiCd ou NMH	~2-10%*
Hidróxido de Potássio	Baterias de NiCd ou NMH	<5%*
Cobalto	Baterias de Lithium-ion	1-5%*
Carbono	Baterias	<5%
Alumínio	Gabinete, estruturas e baterias	~3%**
Aço e metais ferrosos	Gabinete, estruturas e baterias e recarregadores	~10%
Estanho	PCI	~1%
*somente se forem utilizados nesse tipo de bateria, de outro modo estarão em menor concentração ou em micro concentração ou muito baixa concentração		
** se for utilizado alumínio na estrutura do celular ou em sua capa o percentual poderá chegar a ~20%		

Constituintes menores (geralmente estão presentes em quantidades entre 0,1% e 1 %)		
Nome da Substância	Localização no telefone móvel	% encontrado no aparelho incluindo a bateria
Bromo	PCI	
Cádmio	Baterias de NiCd	
Crômio	Estrutura e gabinete	
Chumbo	PCI	
Polímero de cristal líquido	LCD, tela	
Lítio	Baterias de Lithium-ion	
Manganês	PCI	
Prata	PCI, teclado	
Tântalo	PCI	
Titânio	Estrutura e gabinete	
Tungstênio	PCI	
Zinco	PCI	

Micro Constituintes (geralmente estão presentes em quantidades inferiores a 0,1%)		
Nome da Substância	Localização no telefone móvel	% encontrado no aparelho incluindo a bateria
Antimônio	PCI e gabinete	
Arsênio	Arseneto de gálio LED	
Bário	PCI	
Berílio	Conectores	
Bismuto	PCI	
Cálcio	PCI	
Flúor	Baterias de Lithium-ion	
Gálio	Arseneto de gálio LED	
Ouro	Conectores e PCI	
Magnésio	Gabinete*	
Palladium	PCI	
Rutênio	PCI	
Estrôncio	PCI	
Enxofre	PCI	
Ítrio	PCI	
Zircônio	PCI	
* Se o magnésio for utilizado para o gabinete do telefone, a quantidade seria muito maior, em torno de 20%		

fonte: UNEP/BASEL, 2011