

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Resíduos de origem eletrônica

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Luiz Inácio Lula da Silva

José Alencar Gomes da Silva

Vice-Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Sérgio Machado Rezende

Ministro da Ciência e Tecnologia

Luiz Antonio Rodrigues Elias

Secretário-Executivo

José Edil Benedito

Subsecretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

José Farias de Oliveira

Diretor

Carlos César Peiter

Coordenador de Apoio Tecnológico à Micro e Pequena Empresa

Arnaldo Alcover Neto

Coordenador de Análises Minerais

Silvia Cristina Alves França

Coordenador de Processos Minerais

Cosme Antônio de Moraes Regly

Coordenador de Administração

Ronaldo Luiz Correa dos Santos

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Coordenador de Planejamento, Acompanhamento e Avaliação

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

ISBN 978-85-61121-65-5

STA - 57

Resíduos de origem eletrônica

Fábio Henrique Silva dos Santos

Químico (bacharel e licenciado) pela Universidade Federal Fluminense (UFF), Doutor em Ciências Naturais pela Bergische Universität Wuppertal (Diploma revalidado em Química pelo Conselho de Ensino para Graduados - CEPG da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ), Bolsista de Desenvolvimento Tecnológico Industrial CNPq do CETEM.

Carlos Eduardo Gomes de Souza

Químico Industrial pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Bolsista de Desenvolvimento Tecnológico Industrial CNPq do CETEM.

CETEM/MCT

2010

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Luis Gonzaga Santos Sobral

Editor

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Subeditora

CONSELHO EDITORIAL

Marisa Bezerra de M. Monte (CETEM), Paulo Sergio M. Soares (CETEM), Saulo Rodrigues P. Filho (CETEM), Silvia Gonçalves Egler (CETEM), Vicente Paulo de Souza (CETEM), Antonio Carlos Augusto da Costa (UERJ), Fátima Maria Zanon Zotin (UERJ), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (CENPES), Luis Enrique Sánches (EPUSP), Virginia Sampaio Ciminelli (UFMG).

A Série Tecnologia Ambiental divulga trabalhos relacionados ao setor minerometalúrgico, nas áreas de tratamento e recuperação ambiental, que tenham sido desenvolvidos, ao menos em parte, no CETEM.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Thatyana Pimentel Rodrigo de Freitas

Coordenação Editorial

Vera Lúcia Espírito Santo Souza

Programação Visual

Fábio Henrique Silva Santos

Editoração Eletrônica

Andreza Milheiro da Silva

Revisão

Santos, Fabio Henrique Silva
Resíduos de origem eletrônica / Fabio Henrique Silva
dos Santos. — Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

55p.:il. (Série Tecnologia Ambiental, 57)

1. Resíduos Sólidos. 2. Eletrônica. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Souza, Carlos Eduardo Gomes. III. Título. IV. Série.

CDD – 628.44

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Características do material que constitui o “e-lixo”: a toxicidade e o valor agregado	12
2 OBJETIVO	18
3 TIPOS DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS	19
3.1 Placas de circuito impresso	19
3.2 Aparelhos de telefonia móvel	21
3.3 Pilhas domésticas	23
3.4 Baterias recarregáveis	24
4 ETAPAS DA CADEIA DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS	26
4.1 Coleta	27
4.2 Pré-processamento	28
4.3 Processamento final	33
5 O LIXO SOB UMA PERSPECTIVA SOCIAL	40
5.1 A questão do lixo no Brasil	42
6 CONCLUSÕES	45
7 AGRADECIMENTOS	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

RESUMO

Lixo eletrônico, “e-lixo”, rejeitos e/ou resíduos eletrônicos, entre outros; são termos comumente utilizados para equipamentos eletrônicos quando estes tornam-se obsoletos, e são consequentemente, descartados. Devido à crescente aceleração do setor, a indústria de eletrônicos apresenta uma elevada taxa de inovação, o que gera a necessidade de substituição dos equipamentos em um período cada vez mais curto.

Palavras-chave

lixo eletrônico, rejeito eletrônico, e-lixo, reciclagem

ABSTRACT

Electronic waste, “e-garbage”, and/or electronic residues, among others, are terms commonly used for electronic equipments when those ones become obsolete, and they are, consequently discarded. Due to the growing acceleration of that industrial sector, the electronic industry presents a high innovation rate that generates a necessity of replacing those equipments in a shorter period.

Keywords

electronic waste, e-waste, recycling

1 | INTRODUÇÃO

O termo lixo eletrônico, ou “e-lixo”, como é denominado por alguns, refere-se a todo o rejeito oriundo do descarte de aparelhos eletrônicos, tais como: televisores, computadores pessoais — incluindo os seus componentes, como discos rígidos, placas-mãe etc. — aparelhos celulares, entre outros (Figura 1.1). Estes equipamentos são constituídos de um grande número de metais, o que se configura em elevada carga quando expostos no meio ambiente e, além disso, o descarte de bens minerais com elevado valor agregado, como será discutido mais adiante.



Fonte: HUANG, GUO & XU, 2009 (adaptado).

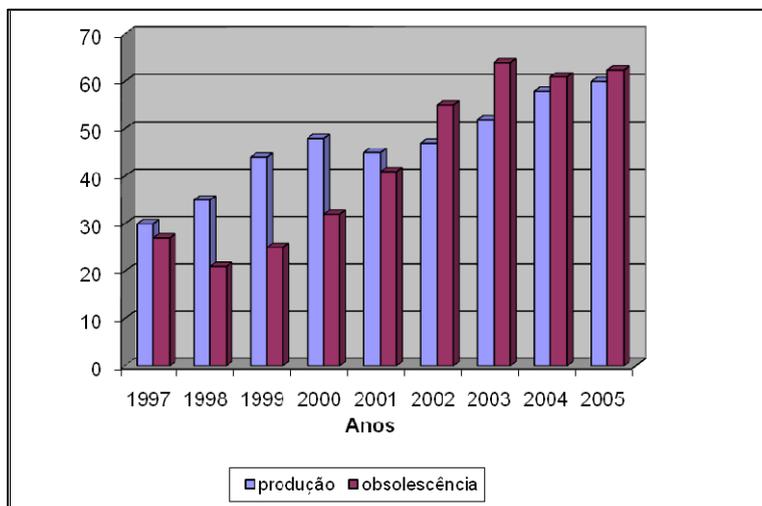
Figura 1.1. Placas de circuito impresso provenientes de diversos tipos de equipamentos.

O lixo proveniente do descarte de equipamentos eletrônicos representa, segundo Kang & Schoenung (2005), entre 2 e 5% do lixo sólido gerado nos municípios norte-americanos. Na Europa, dados apontam para um aumento anual no volume de rejeitos eletrônicos a uma taxa de 3 a 5% (HE *et al.*, 2006). Por sua vez, países emergentes apresentam, também, elevadas taxas de geração de resíduos eletrônicos. Em Formosa (Taiwan), por exemplo, são gerados 100.000 toneladas de lixo eletrônico por ano, de acordo com dados publicados por Chien, Wang, Lien & Yang (2000).

Esses números podem ser ampliados a valores muito superiores, levando-se em consideração o aumento da demanda por esses tipos de equipamentos eletrônicos, em especial em países em desenvolvimento. O acelerado avanço tecnológico vem provocando a procura crescente por equipamentos mais modernos; gerando, em contrapartida, uma elevação na produção do lixo eletrônico. Essa produção visa atender a necessidade de substituição dos aparelhos em uso, fato que ocorre em um intervalo de tempo cada vez mais curto como consequência direta da obsolescência desses equipamentos. Uma ilustração clássica deste quadro é o caso dos computadores pessoais, cuja taxa de obsolescência no início deste século nos Estados Unidos excedeu a taxa de produção (Figura 1.2).

Na literatura podem ser encontrados inúmeros dados que apontam para o potencial de crescimento na geração dos lixos eletrônicos. Entretanto, no que concerne a políticas eficientes para o tratamento de tais rejeitos, um caminho relativamente longo ainda precisa ser percorrido. Do total de rejeitos sólidos produzidos nos Estados Unidos, por exemplo, somente cerca de 42% são reciclados. Se considerarmos somente a reciclagem do lixo proveniente de equipamentos eletrônicos, o percentual de material reciclado é reduzido para valores situados entre 5 e 15%. Essa faixa é bem inferior ao de outros bens que

são descartados pelos consumidores, como por exemplo, os aparelhos que constituem a chamada “linha branca”, tais como: refrigeradores, máquinas de lavar entre outros. Tais equipamentos apresentam uma taxa de reciclagem em torno de 70%.



Fonte: KANG & SHOENUNG, 2005 (adptado).

Figura 1.2. Produção e obsolescência de computadores pessoais nos Estados Unidos.

O método convencional para tratamento de resíduos eletrônicos tem sido até bem pouco tempo a disposição final destes em aterros sanitários e/ou incineração (KANG & SHOENUNG, 2005). A necessidade de locais para serem utilizados como destino final tem acarretado uma sobrecarga constante ao meio ambiente. Sendo assim, inúmeras técnicas utilizadas para o tratamento de sucatas eletrônicas foram desenvolvidas com o intuito de reduzir o grande volume característico das mesmas. Além da compactação, muitos trabalhos de pesquisa foram realizados visando a disposição final de sucatas eletrônicas sob uma forma que minimizasse, principalmente, a disponibili-

zação dos metais constituintes por processo de lixiviação química ou por atuação microbiológica. Dessa forma, foram desenvolvidos métodos de inertização do material eletrônico descartado utilizando-se cimentos (Figura 1.3).



Fonte: NIU & LI, 2007.

Figura 1.3. Sucata eletrônica após sofrer processos de compactação sob alta pressão e posterior inertização visando a deposição final ambientalmente adequada.

Entretanto, essas técnicas não oferecem alternativas para recuperação dos elementos valiosos e/ou de interesse econômico que possam estar, ainda, presentes nos resíduos de origem eletrônica.

1.1 | Características do material que constitui o “e-lixo”: a toxicidade e o valor agregado

Abordar o assunto do lixo eletrônico significa tratar, igualmente, da poluição provocada por metais pesados. Acredita-se que cerca de 70% dos metais pesados (incluindo mercúrio, berílio, chumbo e cádmio) encontrados em locais de disposição final do lixo são provenientes de equipamentos eletrônicos descar-

tados. Essas substâncias, quando liberadas no meio ambiente, podem contaminar o solo, poluir lençóis freáticos, além de colocar em risco a saúde pública.

Uma ideia da quantidade de metais pesados presentes nos equipamentos eletrônicos pode ser obtida através da avaliação sobre as consequências causadas pelo descarte dos monitores CRT (“Cathode Ray Tubes”).

Monitores CRT apresentam chumbo como material de revestimento de sua camada interna visando a proteção do usuário contra a radiação. Sendo assim, estima-se que cerca de 20% em massa dos tubos CRT é composta de chumbo, o que significa uma quantidade que varia entre 1,8 a 3,6 kg por unidade desse equipamento. Tubos CRT eram tratados por meio de quebra e posterior tratamento, cujo objetivo era, basicamente, recuperar o vidro como matéria-prima. Porém, devido ao elevado risco de contaminação ocasionado por este método, uma técnica vem sendo desenvolvida, a qual utiliza o corte dos monitores dividindo-os em duas partes para posterior tratamento, a saber: eliminação de componentes tóxicos, recuperação de partes metálicas internas e a reutilização do vidro como matéria-prima (Figura 1.4).

Com relação aos metais pesados, uma das técnicas praticadas para a remoção desses elementos é a utilização de cinzas de carvão (cinzas volantes). Testes efetuados em lixívia proveniente de aterros sanitários mostram que podem ser alcançados valores superiores a 60% de remoção de metais pesados, como, por exemplo, o chumbo e o cádmio (Figura 1.5). Apesar de apresentarem um percentual de remoção mais discreto, outros metais como o zinco e o manganês são, também, eliminados.



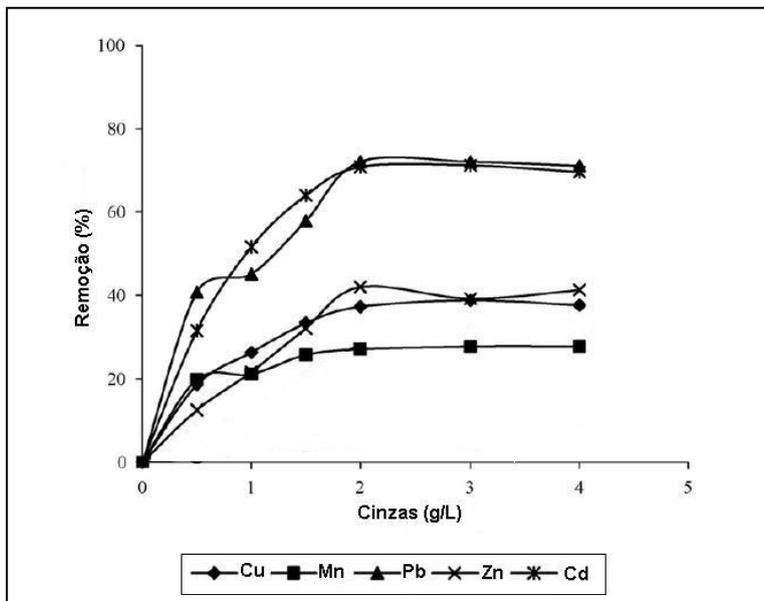
Fonte: KANG & SHOENUNG, 2005.

Figura 1.4. Monitor CRT após sofrer corte, uma das etapas preliminares do tratamento de recuperação dos componentes presentes neste tipo de equipamento.

O tratamento do lixo eletrônico apresenta dois fatores de alta relevância: em primeiro lugar há que se ter em mente que esses rejeitos são fontes de substâncias perigosas ao meio ambiente e a saúde humana. Além dos já mencionados metais pesados, há uma grande quantidade de compostos bromados, que são utilizados na confecção de placas de circuito impresso sob a forma de compostos que atuam como retardantes de chama para prevenção contra a propagação de incêndios (TANGE & DROHMANN, 2005), o teor de bromo apresentado por esses componentes varia de 5 a 15% (CHIEN, WANG, LIEN & YANG, 2000). Materiais retardantes de chama são precursores de dibenzo-p-dioxinas polibromadas e dibenzofuranos, e em decorrência disso, tais compostos são classificados como poluentes orgânicos persistentes (HUANG, GUO & XU, 2009).

Em segundo lugar, o tratamento adequado de resíduos gerados por produtos eletrônicos, além da vantagem de não disponibilizar as substâncias tóxicas para o ambiente apresenta, um adicional econômico de alta relevância, tendo em vista que um

grande número dos metais que constituem esse tipo material apresenta elevado valor agregado e são de grande interesse do ponto de vista econômico. Na Europa existem empresas que atuam especificamente no tratamento de resíduos eletrônicos. Para citar um único exemplo, destacamos a empresa Umicore (Figura 1.6), que é responsável pelo tratamento de 250.000 toneladas/ano de metais, obtendo uma recuperação, para alguns casos, de aproximadamente 98% (TANGE & DROHMANN, 2005).



Fonte: MOHAN & GANDHIMATHI, 2009 (adaptado).

Figura 1.5. Efeito da massa de cinzas de carvão na remoção de metais pesados.

Como a taxa de geração deste tipo de resíduo apresenta elevada tendência de crescimento em virtude do acelerado processo tecnológico atual, a importância dos processos de recuperação de metais provenientes desta fonte vem despertando o interesse econômico de inúmeros investidores.

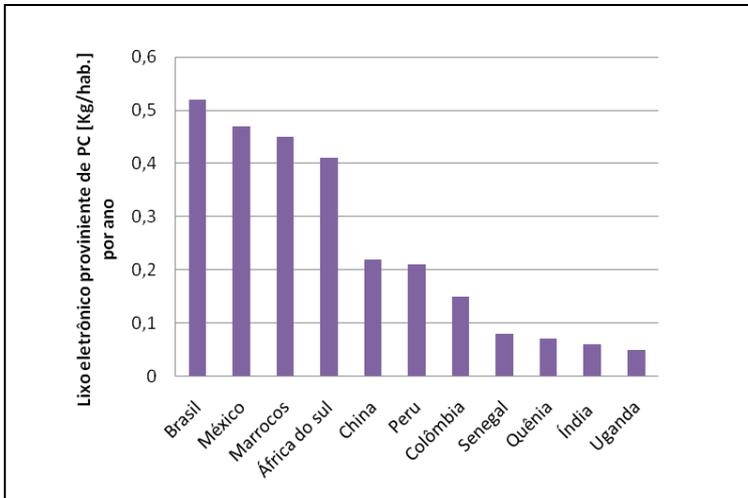


Fonte: GOOGLE MAPS, 2010.

Figura 1.6. Visão aérea das dependências da empresa Umicore, na Bélgica (em destaque).

Segundo relatório da UNEP, publicado em fevereiro de 2010, os resíduos provenientes de equipamentos eletrônicos descartados crescerão de forma dramática nos países em desenvolvimento nos próximos 10 anos. O Brasil é apontado como o país emergente cujo mercado de computadores pessoais encontra-se em amplo crescimento. Tal crescimento confere ao país o título de maior gerador de volume de lixo eletrônico por habitante ao ano (Figura 1.7).

Estimativas levantadas pela UNEP (2009) apontam para a geração de 40 milhões de toneladas de lixo eletrônico por ano, onde uma grande parte ainda é observada nos países desenvolvidos. A Europa seria responsável por 25% desse lixo. O Brasil abandona 96,8 mil toneladas de computadores pessoais ao ano, valor somente inferior ao que é descartado pela China, onde são abandonadas cerca de 300 mil toneladas. Na Índia, estima-se que a produção de lixo proveniente do descarte de equipamentos eletrônicos em 2020 será cinco vezes superior ao que foi gerado no ano de 2007.



Fonte: UNEP, 2009 (adaptado).

Figura 1.7. Quantidade anual de e-lixo proveniente de computadores pessoais (PCs) gerado em países emergentes (em kg por habitante).



Fonte: REUTERS, 2010.

Figura 1.8. Operário trabalhando em uma fábrica de reciclagem de lixo eletrônico na Índia.

2 | OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é efetuar um levantamento sobre os aspectos relacionados ao chamado resíduo eletrônico, comumente conhecido como “e-lixo”, suas características e sua projeção no cenário nacional e mundial. Procura-se aqui abordar os aspectos relacionados à carga ambiental relacionada a esse tipo de material e, além disso, efetuar uma sondagem sobre o atual nível tecnológico utilizado em seu tratamento, visando recuperação dos materiais empregados e/ou disposição final adequada, contribuindo, desta forma, para a remediação de seu impacto. Sendo assim, espera-se oferecer uma revisão bibliográfica que possa disponibilizar informações que possibilitem, de certa forma, auxiliar e/ou orientar investigações posteriores.

3 | TIPOS DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS

O lixo oriundo de equipamentos eletrônicos é bastante diverso e complexo em termos de materiais e componentes. A correta caracterização dessa espécie de resíduo é fundamental para o desenvolvimento de um sistema que permita a sua reciclagem com baixo custo operacional, bem como satisfatório, do ponto de vista ambiental. Este capítulo procura mostrar alguns dos principais componentes do lixo eletrônico e suas características.

3.1 | Placas de circuito impresso

As placas de circuito impresso constituem cerca de 3% em peso do total da sucata proveniente de equipamentos eletrônicos descartados (LONG *et al.*, 2010; GUO *et al.*, 2009) e a sua industrialização representa um dos principais consumidores para a atual demanda mundial de metais.

O número total de elementos químicos encontrados nos resíduos eletrônicos pode alcançar o número significativo de 60 elementos diferentes, que podem ser tóxicos ou valiosos. Entretanto, essa combinação de substâncias é ainda mais complexa nas placas eletrônicas de circuito impresso.

Placas de circuito impresso são constituídas por compostos/resinas orgânicas além de um número considerável de diferentes elementos. De uma forma geral, podem ser encontrados metais nobres em teores médios de 250 ppm de ouro, 1000 ppm de prata e 100 ppm de paládio. Além desses metais, observa-se ainda a presença de traços de outros elementos, tais como As, Sb, Ba, Br e Bi. Em quantidades superiores, são encontrados ainda outros metais, alguns dos quais apresentando certa importância econômica (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Metais comumente encontrados em placas de circuito impresso.

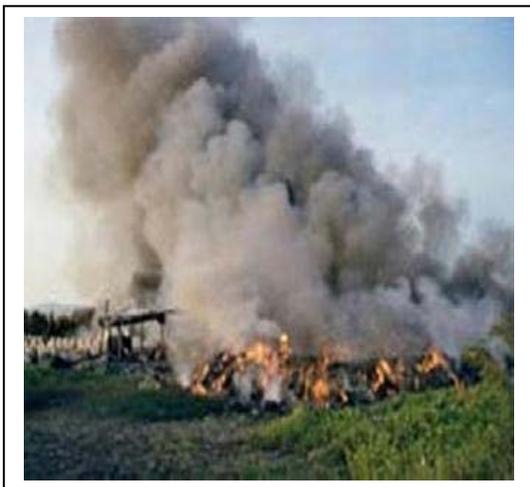
Metal	Massa (%)
Ferro	7
Alumínio	5
Cobre	20
Chumbo	1,5
Níquel	1
Estanho	3
Compostos Orgânicos	25

Fonte: UNEP, 2009.

Placas de circuito impresso podem causar sérios danos ao meio ambiente, caso sejam descartadas de maneira indevida. Quando descartadas em terrenos abertos, como em aterros sanitários ou “lixões”, a lixívia gerada pode infiltrar no solo e alcançar o lençol freático, causando a contaminação desses corpos receptores. A incineração sem qualquer tipo de tratamento, em virtude da presença de retardantes de chama, plásticos e resinas pode causar, também, danos ambientais (Figura 3.1) em decorrência da formação de produtos secundários, tais como: dioxinas, furanos, poluentes orgânicos polibromados e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HUANG, GUO & XU, 2009).

Atualmente, técnicas para um tratamento mais adequado desse tipo de material têm sido desenvolvidas. De maneira geral, as placas de circuito impresso sofrem, inicialmente, um tratamento térmico, etapa que se encarrega da separação da parte orgânica dos metais que, por sua vez, sofrem fusão. Em alguns processos, a própria matriz polimérica do material é utilizada como fonte de energia. O passo seguinte é escolhido de acordo com a composição metálica intrínseca do material em

tratamento. Desta forma, o método apropriado poderá ser efetuado via procedimento hidro- ou eletro-metalúrgico. Por exemplo, Park & Fray (2009) utilizaram água-régia como material lixiviante para recuperar prata (98%), paládio (93%) e ouro (97%) de resíduo constituído de placas de circuito impresso. Esse tipo de tratamento fornece prata sob a forma de precipitado e o paládio permanece em solução. O ouro necessita de tratamento adicional com tolueno como extratante.



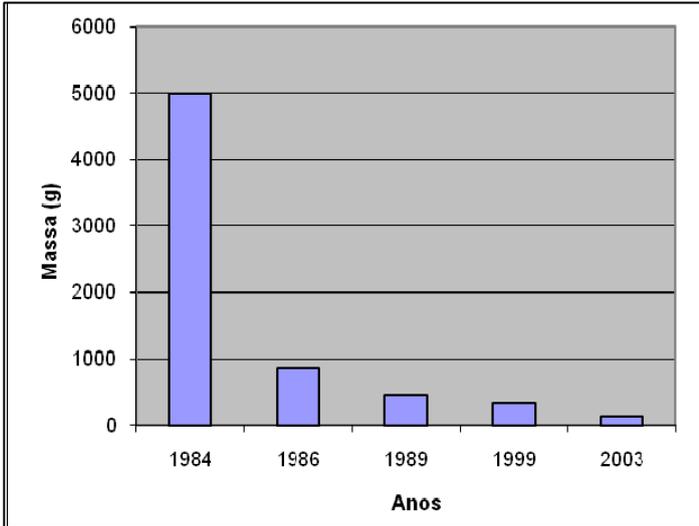
Fonte: HUANG, GUO & XU, 2009.

Figura 3.1. Incineração de placas de circuito impresso na província de Guandong, China.

3.2 | Aparelhos de telefonia móvel

A primeira geração de equipamentos telefônicos portáteis era volumosa e apresentava uma massa superior a 4 kg. Esses dispositivos eram constituídos, a princípio, por baterias ácidas que continham chumbo (NNOROM, OHAKWE & OSIBANJO, 2009). Entretanto, com o avanço tecnológico, estes equipa-

mentos foram perdendo massa, gradativamente, e tornando-se menores (Figura 3.2) e suas baterias foram sendo, da mesma forma, substituídas por outras de tecnologia mais avançada. Atualmente existem, para a telefonia móvel, duas espécies de baterias que são dominantes no mercado: baterias de íon lítio (Li-ion) e baterias hidreto de níquel (NIMH).



Fonte: OSIBANJO & NNOROM, 2008 (adaptado).

Figura 3.2. Decaimento do peso dos aparelhos telefônicos móveis.

Um aparelho de telefonia móvel contém uma grande variedade de substâncias, além de plástico e metais. Em um simples aparelho podem ser encontrados mais de 40 elementos químicos, sendo os metais responsáveis por cerca de 23% do peso. Metais como cobre, estanho, cobalto, índio e antimônio estão presentes neste tipo de equipamento. Além destes, metais preciosos como prata, ouro e paládio também podem ser encontrados (Tabela 3.2).

Tabela 3.2. Estimativa da massa de metais preciosos por unidade de aparelho de telefonia móvel.

Metal	Massa (mg)
Prata	250
Ouro	24
Paládio	9

Fonte: UNEP, 2009.

Apesar de suas dimensões terem alcançado um tamanho atual bem inferior àquele apresentado pelos primeiros aparelhos comercializados, os equipamentos de telefonia móvel alcançaram uma enorme utilização global. Em 2007 a venda mundial deste tipo de equipamento atingiu a marca de 1,2 bilhão de unidades. Levando-se em conta o volume de aparelhos vendidos aliado ao fato de que a vida útil dos mesmos dificilmente ultrapassa os 2 anos de uso, pode-se avaliar a importância do desenvolvimento de técnicas que propiciem a recuperação de metais de interesse econômico para a indústria eletrônica.

3.3 | Pilhas domésticas

Devido a sua variada aplicação em um considerável número de aparelhos portáteis, as pilhas domésticas constituem uma parcela considerável do lixo eletrônico. O potencial poluidor destes objetos é amplo, visto que existem diversos tipos de pilhas domésticas desde as chamadas pilhas comuns até as pilhas alcalinas, passando ainda, pelas as pilhas recarregáveis.

Dependendo do tipo de pilha considerada a combinação de materiais que a constitui, esta pode assumir as mais variadas composições. Sendo assim, podem ser encontrados diversos elementos contaminantes, tais como zinco, manganês, níquel,

cádmio, chumbo, mercúrio, entre outros (MACÊDO, TRINDADE & SOARES, 2002).

A presença desses contaminantes confere às pilhas a característica de lixo tóxico, e seu descarte juntamente com o lixo doméstico sofreu várias restrições na Europa. Dessa forma, seu descarte deveria ser efetuado de forma regulamentada. Todavia, o aterramento dessas pilhas é o destino final praticado. No Brasil, a regulamentação sobre a fabricação e o descarte das pilhas foi implementada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente em 1999 (CONAMA, 1999). O processo usual no tratamento deste tipo de material é via rota hidrometalúrgica, através do qual a recuperação dos metais presentes pode alcançar 95% (MACÊDO, TRINDADE & SOARES; 2002).

Entretanto, a utilização desses dispositivos vem sendo, ultimamente, gradativamente suplantada pela utilização das baterias recarregáveis.

3.4 | Baterias recarregáveis

Baterias recarregáveis são amplamente utilizadas nos dias atuais como fonte de alimentação de um grande número de aparelhos portáteis. Muitos equipamentos vêm sendo desenvolvidos para utilizar um tipo próprio de componente de alimentação, impossibilitando por exemplo, a utilização das pilhas recarregáveis. Existem dois tipos principais de bateria: as de níquel-cádmio e as de hidreto de níquel. Baterias de níquel-cádmio são constituídas principalmente de ferro, cádmio, níquel e cobalto. Baterias de hidreto de níquel são compostas por uma mistura de níquel metálico, óxido de níquel e uma liga, cujos componentes principais são cério, lantânio e neodímio.

Tendo em vista a composição das baterias recarregáveis à base de metais poluentes, conclui-se que após sua vida útil,

tais materiais se constituem como uma potencial agressão ao meio ambiente, o que torna necessário o seu tratamento para uma disposição final segura. Segundo He *et al.* (2006) o cádmio presente em apenas uma bateria de telefone móvel é suficiente para contaminar 600.000 litros de água.

Para tratamento desses materiais, utilizam-se, usualmente, técnicas hidrometalúrgicas, dentre as quais, as mais aplicadas são os processos que envolvem a extração por solvente dos metais, ou resinas trocadoras de íons em solução. Esta última é amplamente utilizada no tratamento de soluções com baixas concentrações de íons metálicos. As soluções mais concentradas, por sua vez, são tratadas através da extração por solventes, cuja seletividade elevada permite a obtenção de soluções contendo metais nas suas formas solúveis com elevada concentração e pureza.

A liberação dos metais presentes nas baterias ocorre através de uma lixiviação, quase sempre ácida. No caso das baterias de níquel-cádmio, o ácido sulfúrico é utilizado proporcionando um pH em torno de 1,0, permitindo a solubilização desses elementos que se encontram nas baterias sob a forma de hidróxido. O tratamento da lixívia através da extração por solventes fornece valores de extração superiores a 90% para ambos (SOUZA, LEÃO & PINA; 2005).

4 | ETAPAS DA CADEIA DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS

A vida útil dos equipamentos de origem eletrônica tem se tornado cada dia mais curta nos últimos anos. A tendência é que este quadro se mantenha desta forma por um tempo considerável, em virtude das rápidas mudanças que ocorrem neste setor, impulsionando a substituição dos aparelhos em uso por modelos mais modernos. Dessa forma, a consequência imediata é a geração de uma enorme quantidade de resíduo em decorrência da considerável quantidade de equipamentos que tornam-se obsoletos continuamente: o lixo eletrônico.

Como destacado em capítulos anteriores, o lixo eletrônico é constituído de compostos que apresentam um determinado valor agregado. Há que se ter em mente que, ao se levantar a temática sobre os resíduos de origem eletrônica, está se tratando de uma integração complexa de numerosas tecnologias. Portanto, trata-se de uma abordagem de um número muito elevado de materiais com distintos componentes. Sendo assim, o tratamento desse tipo de resíduo necessita de diversas etapas, as quais precisam ser bem delineadas para que esse tratamento seja bem sucedido.

De maneira geral, o tratamento adequado de sucatas eletrônicas pode ser resumido em 3 etapas fundamentais: coleta, pré-processamento (desmanche, fragmentação e separação) e processamento final (Figura 4.1).

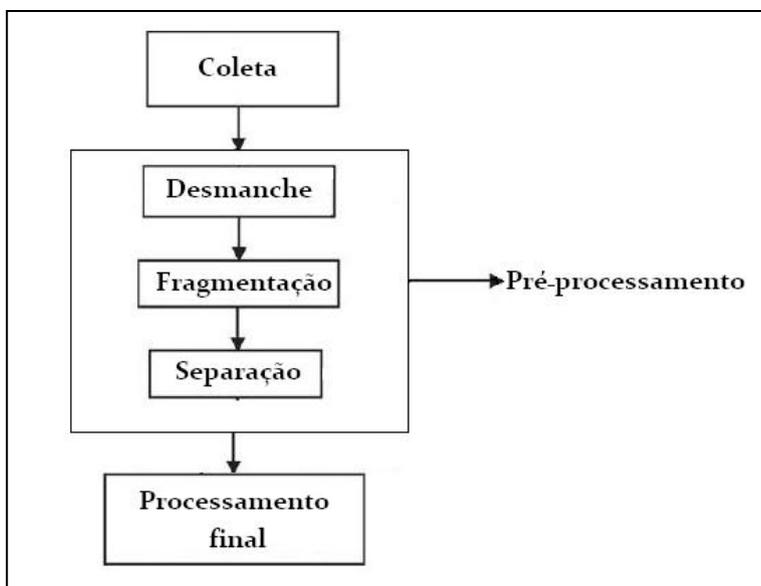


Figura 4.1. Diagrama resumido das etapas de tratamento de resíduos de origem eletrônica.

4.1 | Coleta

A etapa de coleta consiste na obtenção, seguida da separação dos materiais provenientes de equipamentos eletrônicos do restante do montante de lixo. Esta etapa é realizada em países desenvolvidos pelos órgãos que são responsáveis pela limpeza urbana. De fato, muitos governos vêm desenvolvendo nos últimos anos programas de coleta programada para determinados tipos de lixo. No caso específico do resíduo de origem eletrônica, a coleta pode constituir um evento específico e/ou temporário ou ainda de um programa de coleta permanente. Existe, geralmente, uma data pré-determinada para convocar a população a realizar o descarte de equipamentos defeituosos e/ou obsoletos, que são recolhidos em veículos apropriados. Na Alemanha este é o procedimento padrão para a coleta de equi-

pamentos eletrônicos defeituosos ou obsoletos. Por sua vez, nos Estados Unidos, programas de coleta não permanentes foram implementados no final da década de 90 com adesão de 3/5 dos estados e desde então a USEPA vem criando normas para o tratamento efetivo destes resíduos (USEPA, 2010).

4.2 | Pré-processamento

O pré-processamento é a etapa imediatamente posterior à coleta. Todo o material eletrônico é pré-selecionado de acordo com as suas características. O objetivo principal do pré-processamento é preparar o material para que o mesmo possa ser tratado adequadamente e, desta forma, facilitar a recuperação das espécies de interesse na etapa de processamento final.

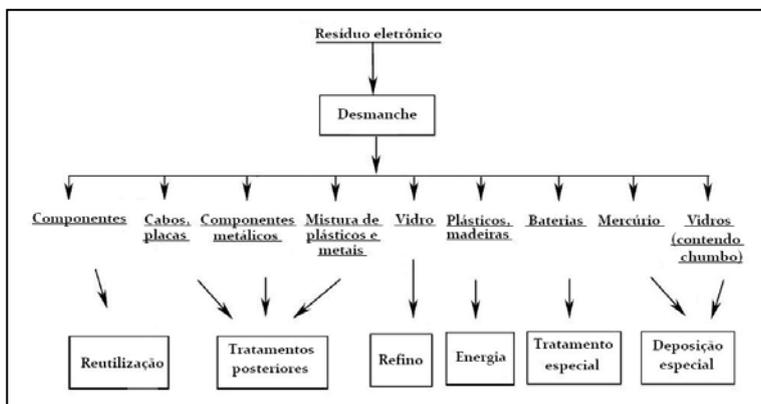
4.2.1 | Desmanche

Trata-se do procedimento que permite a remoção de um componente e/ou parte, ou ainda de um grupo de partes de um determinado equipamento (desmanche parcial). Pode-se tratar ainda de um processo no qual ocorre a separação total de todas as partes de um equipamento (desmanche total) para um determinado fim (CUI & FORSSBERG, 2003).

Na reciclagem do material proveniente do descarte de equipamentos eletrônicos, o procedimento de desmache é uma etapa indispensável do processo, mas que, no entanto, deve obedecer, via de regra, a alguns itens, tais como:

- Priorizar a reutilização do material;
- A separação dos componentes perigosos é essencial;
- Possibilitar uma posterior separação adequada de materiais valiosos e/ou que contenham considerável valor agregado, tais como circuitos, cabos etc.

A empresa Elektronikåtervinning AB, na Suécia, possui uma típica operação de desmanche como etapa preliminar na reciclagem dos componentes de interesse econômico (Figura 4.2).



Fonte: CUI & FORSSBERG, 2003 (adaptado).

Figura 4.2. Etapa de desmanche para posteriores procedimentos de tratamento.

4.2.2 | Fragmentação

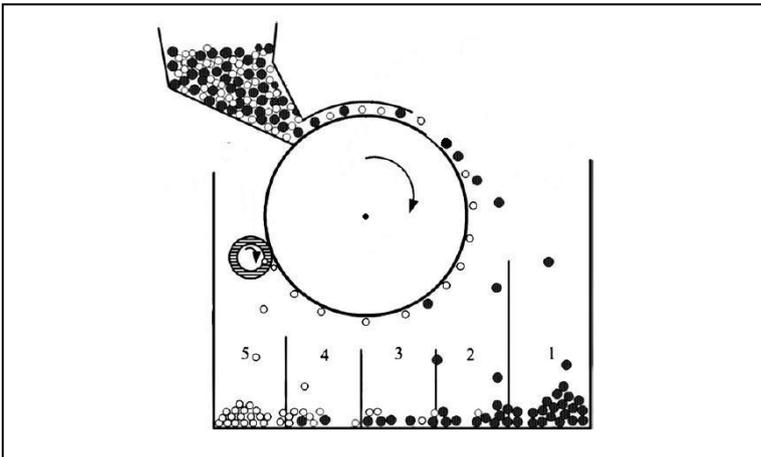
Refere-se, em geral, ao tratamento mecânico visando a redução de volume do material, seja por esmagamento ou cominuição. Existem três razões primordiais para se efetuar uma redução de tamanho do material. Primeiramente, tem-se a geração de partículas que podem ser mais facilmente manipuladas e/ou passíveis de sofrer tratamento posterior. Em segundo, lugar a geração de partículas relativamente uniformizadas, seja em tamanho ou em forma, possibilita uma melhor separação das mesmas. Finalmente, a redução propicia uma melhor liberação de materiais heterogêneos um dos outros (KANG & SHOENUNG, 2005).

4.2.3 | Separação

Em decorrência das inúmeras substâncias presentes em resíduos oriundos de material eletrônico, a separação para posterior tratamento consiste em uma etapa importante e laboriosa do processo. Existem dois métodos de separação que são amplamente utilizados: a separação eletromagnética e a flotação. No caso específico do lixo eletrônico, existem ainda outros métodos que vêm sendo desenvolvidos e aplicados para a separação de seus fragmentos, dentre os quais destacam-se: a separação por vibração e a triagem óptica (*optical sorting*).

Separação Magnética

Neste processo, as partículas metálicas são carregadas eletricamente por indução. Esta indução eletrostática praticamente não exerce qualquer efeito sobre as partículas não-metálicas presentes no meio. Forças de um campo elétrico fornecido por um eletroímã rotatório atuam na separação dos diferentes tipos de partículas (Figura 4.3).



Fonte: LI, LU, ZU & ZHOU; 2008 (adaptado).

Figura 4.3. Figura esquemática de um eletroímã rotatório.

Flotação

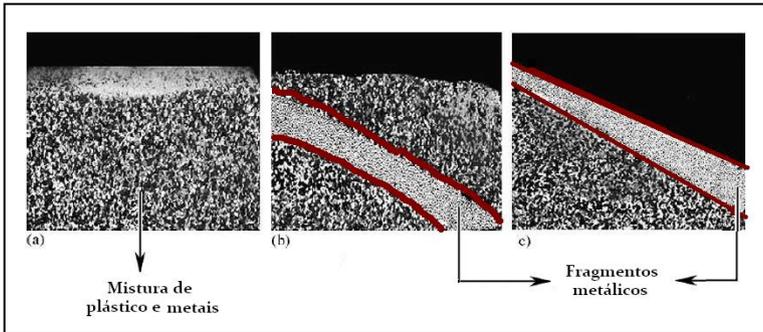
A flotação é uma maneira eficiente e econômica de separar o material polimérico presente basicamente como carcaças, suportes e presilhas de fixação dos circuitos e componentes eletrônicos. O processo se baseia na diferença de densidade e no comportamento físico-químico das superfícies das partículas presentes numa suspensão aquosa. Reagentes específicos podem ser utilizados para permitir a recuperação seletiva do material de interesse por adsorção em bolhas de ar. Os equipamentos tradicionalmente adotados se dividem em duas classes, mecânicos e pneumáticos, dependendo do dispositivo utilizado para efetivar a separação.

Separação por vibração

Como o material proveniente da fragmentação de rejeitos eletrônicos consiste em uma mistura não uniforme e de propriedades muito variáveis, tais como: tamanho, densidade, forma etc.; estas diferenças podem ser utilizadas para separá-las sob a influência de vibração a uma determinada frequência. Esta técnica tem como ponto de partida a utilização da granulometria do material para a separação dos constituintes de uma mistura heterogênea, baseando-se no chamado “Brazil Nut Effect - NBE”. Sob a ação do NBE as partículas de granulometria heterogênea, sob a ação de uma determinada vibração, separam-se das partículas maiores, migrando para o topo da mistura e as menores, por sua vez, depositando-se no fundo do recipiente.

A Figura 4.4 apresenta uma mistura contendo fragmentos plásticos e metálicos. Em (a) observa-se a mistura logo após ser dado início ao processo de vibração. Nesta etapa, o material ainda constitui uma mistura heterogênea. A etapa seguinte, em (b), marca o surgimento de fases distintas, ou seja, uma ca-

mada composta predominantemente por partículas metálicas concentra-se em uma região em meio as partículas plásticas. Ao final do procedimento, representado em (c), a segregação das partículas em camadas pode ser observada através da presença uma camada localizada no topo da mistura constituída predominantemente por partículas metálicas.



Fonte: MOHABUTH & MILES, 2005 (adaptado).

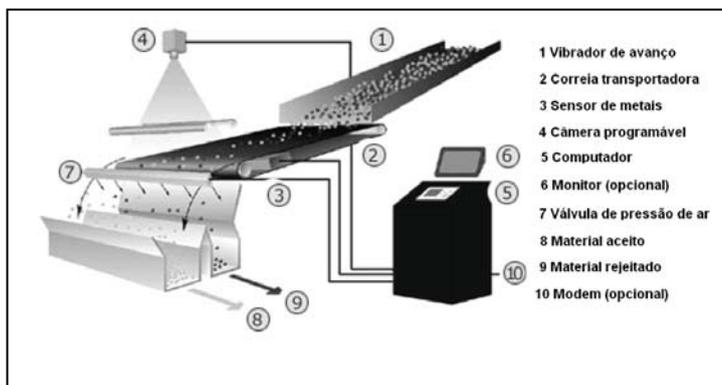
Figura 4.4. Comportamento de uma mistura contendo plásticos e metal sob agitação a uma frequência de 40 Hz após (a) 0 s, (b) 30 s e (c) 250 s.

Triagem óptica

Com o rápido desenvolvimento de sensores, da ciência da computação e criação de novos softwares; o processo de triagem óptica (*optical sorting*) vem sendo empregado, especialmente, na reciclagem de bens metálicos não renováveis, na indústria de processamento mineral e, ainda, de forma crescente no tratamento de resíduos de origem eletrônica. Particularmente na identificação da presença de metais preciosos, o desenvolvimento contínuo de sensores ópticos mais sofisticados possibilita a operação de triagem automatizada. A medição das propriedades físico-químicas das partículas, como: cor, textura, morfologia, condutividade dentre outras; proporciona

uma elevada qualidade na classificação de materiais mistos em frações específicas.

Conforme demonstrado na Figura 4.5, um aparelho de triagem óptica é constituído por sensores de condutividades que, a partir de leituras eletromagnéticas, identificam uma grande variedade de metais; e/ou linha de câmeras de alta velocidade, que identificam cerca de 1 bilhão de cores no material sobre a esteira e transmitem, em milissegundos, as informações obtidas a um computador de alto desempenho. Um sistema de ejeção pneumática, composto por uma bateria de válvulas, direciona, por intermédio de jatos de ar pressurizado, o material de interesse para distintos compartimentos.



Fonte: CUI, 2005 (adaptado).

Figura 4.5. Visão esquemática de um sistema de triagem óptica.

4.3 | Processamento final

Em empresas de grande porte e que possuem uma estrutura adequada para realizar o tratamento dos resíduos eletrônicos, esta etapa consiste, em muitos casos, no refino do material metálico e subsequente disposição final de resíduos não aproveitáveis.

A recuperação dos metais de interesse econômico emprega, via de regra, técnicas metalúrgicas, tais como: processamento pirometalúrgico e processamento hidrometalúrgico, os quais envolvem um largo número de reações químicas. Ultimamente, o processo de biolixiviação vem sendo utilizado no tratamento e recuperação de metais como uma alternativa aos métodos tradicionais para esse fim e, em decorrência da presença dos inúmeros metais presentes em sucatas eletrônicas, o processo de biolixiviação vem encontrando aplicação como método alternativo para o tratamento desse tipo de resíduo (ILYAS et al., 2007; ILYAS et al., 2010).

4.3.1 | Processos pirometalúrgicos

O processamento pirometalúrgico vem se transformando nos últimos tempos em um método tradicional para a recuperação de metais não-ferrosos, bem como de metais preciosos (CUI & ZHANG, 2008). Dentre os processos pirometalúrgicos utilizados no tratamento de resíduos eletrônicos destaca-se o processo Noranda, através do qual cerca de 100 mil toneladas desse tipo de resíduo são tratadas anualmente no Canadá (VELDBUIZEN & SIPPEL, 1994 *apud* CUI & ZHANG, 2008). O material é fundido a uma temperatura de 1250°C, sendo a demanda energética parcialmente suprida pelo plástico e outros materiais inflamáveis presentes no material. Deste processo resulta como produto final ouro com pureza de 99,1%, sendo os 0,9% restantes, uma mistura contendo metais preciosos como prata, paládio e platina.

Durante o tratamento de sucatas eletrônicas, especial atenção é dispensada ao cobre, pois trata-se de um elemento encontrado com relativa abundância nessa espécie de resíduo. Nas placas de circuito impresso, por exemplo, o cobre constitui 20% da massa do material (*vide* Tabela 3.1). Em decorrência disso,

o processo pirometalúrgico já vem sendo implementado em vários casos de tratamento de resíduos eletrônicos visando a recuperação de metais e, em especial, do cobre. De maneira geral, a sucata eletrônica contendo alto teor de cobre é encaminhada para um forno de ustulação (*blast furnace*), onde grande parte das impurezas voláteis são oxidadas juntamente com os compostos orgânicos sob a ação de temperaturas elevadas (Figura 4.6). Esse processo conta ainda com insuflação de ar que atua como agente oxidante resultando em um cobre comercial contendo uma pureza de 999/1000. Além disso, o cobre obtido através desse procedimento contém quase todos os metais preciosos presentes na sucata. Os subprodutos da etapa de ustulação são a escória e o material particulado da filtração. A escória é rica em óxidos de ferro e alumínio, apresentando baixo valor comercial. Geralmente, esta escória é encaminhada para descarte apropriado ou é utilizada para jateamento. O material particulado retido no filtro, por outro lado, é rico em óxidos de zinco, chumbo e estanho, que podem ser extraídos ou segregados por técnicas hidrometalúrgicas.

Os compostos orgânicos presentes na sucata eletrônica, que dão origem principalmente a furanos e dioxinas são igualmente abatidos nos lavadores de gases; reduzindo assim as possíveis contaminações atmosféricas.

O cobre impuro é refinado por um processo eletrolítico que produz catodos de cobre de alta pureza. Esse processo se dá pela redução dos íons cúpricos presentes nas soluções ácidas sulfúricas, eletrólito da célula eletrolítica, provenientes da dissolução do anodo, que é constituído de cobre impuro. Os metais preciosos, durante o processo de dissolução do anodo, formam compostos insolúveis, a exemplo da prata (Ag_2SO_4), ou permanece na forma metálica, a exemplo do ouro, platina etc., que se desprendem da superfície anódica sendo recolhidos nos chamados sacos anódicos. Essa lama é, posteriormente,

desaguada e encaminhada para um forno onde é produzido o metal *doré*, que é uma mistura de prata, ouro, selênio, telúrio e metais do grupo da platina, a partir do qual os metais são recuperados, individualmente, em etapas adicionais de refino.

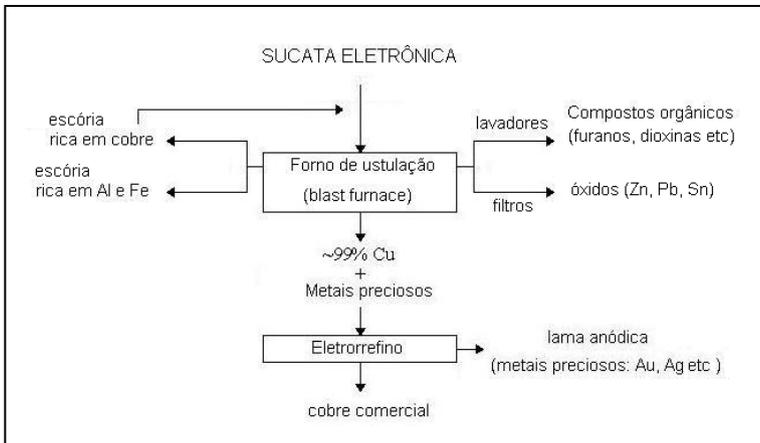


Figura 4.6. Processamento pirometalúrgico de sucata eletrônica.

4.3.2 | Processos hidrometalúrgicos

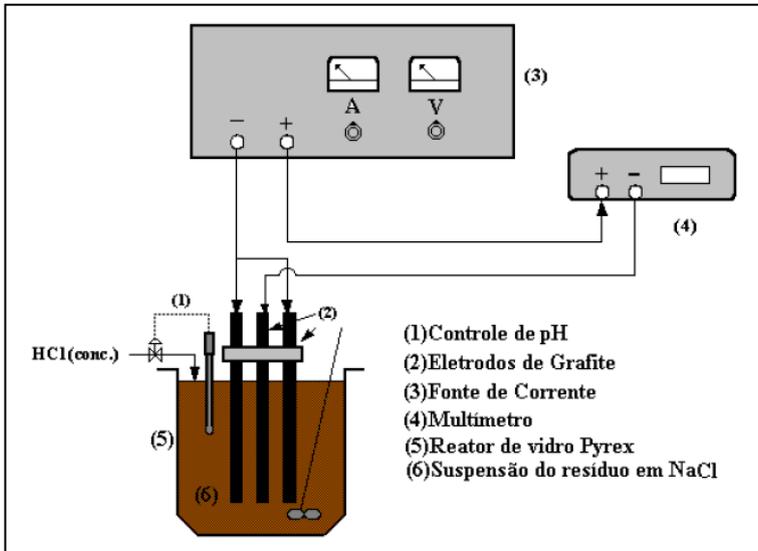
Trata-se de uma técnica amplamente utilizada na recuperação de metais provenientes de resíduos eletrônicos, devido em grande parte a sua maior facilidade de controle (CUI & ZHANG, 2008).

A principal etapa destes processos consiste na lixiviação ácida e/ou básica do material a ser tratado. As soluções assim obtidas sofrem posterior separação e purificação pela utilização de processos específicos, tais como: precipitação de impurezas, extração por solvente, adsorção e utilização de resinas trocadoras de íons. Finalmente, o material é recuperado via eletrorefino, redução química, cristalização etc.

A etapa inicial de um processo hidrometalúrgico consiste em uma lixiviação. Esta, por sua vez, tem por objetivo a extração de um constituinte solúvel a partir de uma matriz sólida por meio de um agente lixiviante em solução. Os lixiviantes mais comuns utilizados na recuperação de metais presentes nos resíduos eletrônicos são as soluções de ânions como o cianeto, halogênios e tiosulfatos.

Uma outra técnica hidrometalúrgica amplamente utilizada, denominada eletrolixiviação, pode ser aplicada na dissolução de metais contidos, principalmente, em circuitos eletrônicos. Esse processo caracteriza-se pela ação de agentes oxidantes fortes, gerados num sistema reacional apropriado, por ocasião da oxidação eletrolítica dos íons cloreto presentes no meio reacional (Figura 4.7). Uma vantagem desse processo é o fato do material a ser tratado poder ser utilizado sob diversas formas: pó, suspensão em solução de cloreto de sódio ou eletrólito do sistema eletrolítico.

Eletrodos de grafite ou DSA (*dimensionally stable anode*) são comumente empregados juntamente com a energização do sistema, ou seja, a passagem de corrente, para dar início ao processo eletrolítico.



Fonte: BARBOSA & SOBRAL, 2002.

Figura 4.7. Exemplo de sistema reacional de eletrolisivação: célula com anodo e catodo em um único compartimento.

4.3.2 | Biolixiviação

O emprego de micro-organismos na recuperação de metais a partir de resíduos eletrônicos pode ser uma alternativa econômica por ser um processo que requer um menor investimento inicial e um baixo consumo energético, principalmente se comparado ao processamento pirometalúrgico, pois este último necessita de um alto consumo de energia e requer um elevado investimento de implantação. Além disso, o processo pirometalúrgico é capaz de liberar dioxinas, furano ou mesmo, em alguns casos, emanações de metais pesados.

A biolixiviação tem sido aplicada com sucesso na lixiviação de metais a partir de minérios e concentrados de flotação de sul-

fetos minerais onde os micro-organismos mais estudados são *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidithiobacillus thiooxidans* e *Leptospirillum ferrooxidans* (BRANDL, BOSSHARD & WEGMANN; 2001). Por outro lado, estudos recentes vêm sendo realizados para a extração de metais a partir de sucata eletrônica utilizando, além dos micro-organismos supramencionados, as *archaeas*, que são igualmente capazes de promover a dissolução dos metais de base liberando, em suas formas elementares, os metais preciosos. Entretanto, em alguns casos, é possível a utilização de micro-organismos cianogênicos a exemplo da bactéria *Chromobacterium violaceum* (ILYAS *et al.*, 2010), que são capazes de gerar íons cianeto que, em meio aerado, promoverão a dissolução desses metais preciosos em suas formas ciano-complexas.

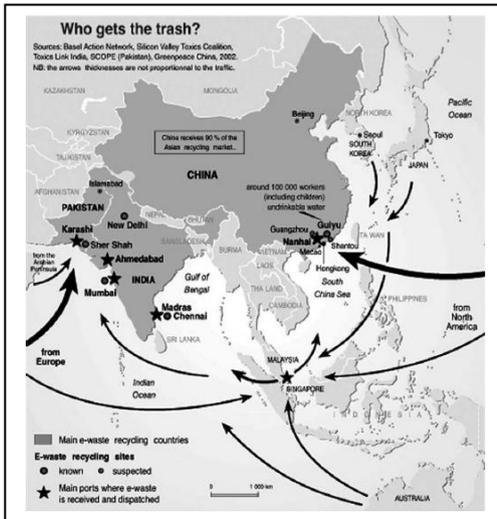
Nesse sistema, a coluna é devidamente preenchida com a sucata eletrônica, previamente fragmentada, e, de modo contínuo, é realizada a irrigação do leito, na forma de *spray*, de solução sulfúrica com controle do pH e taxa de irrigação, pelo uso de um borrifador localizado no topo da coluna. A solução sulfúrica que percola o leito de sucata eletrônica contém fontes de nutrientes, tais como: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K); além de bactérias e *archaeas*.

Na base da coluna é insuflado ar, de forma ascendente, para que seja assegurado o fornecimento de oxigênio e dióxido de carbono no sistema reacional. Para que o processo de biolixiviação se estabeleça, é fundamental a disponibilidade de oxigênio dissolvido na superfície das partículas fragmentadas e do dióxido de carbono (CO₂), que é utilizado como fonte de carbono, e que, juntamente com os demais nutrientes supramencionados, é necessário para a síntese de material celular utilizado para originar novas células.

5 | O LIXO SOB UMA PERSPECTIVA SOCIAL

A questão em relação aos rejeitos oriundos de equipamentos eletrônicos tem levantado inúmeras discussões pelo mundo em decorrência, entre outros fatores, do considerável volume gerado e das substâncias tóxicas contidas no mesmo, suscitando a busca de soluções para reverter este quadro.

Em decorrência das constantes inovações tecnológicas e do intenso mercado que continua em franco crescimento, as medidas atuais para tratamento desta espécie de resíduo ainda encontram-se em um nível primário. Os países desenvolvidos, apesar das restrições impostas, procuram solucionar o problema através da exportação de equipamentos obsoletos para nações em vias de desenvolvimento, em especial, para os países do continente asiático (Figura 5.1).



Fonte: WIDMER *et al.*, 2005 *apud* HUANG, GUO & XU; 2009.

Figura 5.1. Rota de transporte ilegal de resíduos de origem eletrônica para o continente asiático.

Uma reportagem da Televisão Central da China, realizada em abril de 2004, apontava para a utilização de tecnologias primitivas e ambientalmente ineficazes e, cuja utilização havia sido intensificada nos últimos anos na China. Métodos rudimentares são utilizados por uma parcela da população que depende desta atividade para sua subsistência (Figura 5.2).



Fonte: SVTC, 2002.

Figura 5.2. Operação de desmanche de peças eletrônicas em Guiyu, localidade situada nos arredores da cidade de Shantou, China.

No Brasil, o quadro apresenta certas similaridades, onde o desmanche dos equipamentos é efetuado, muitas vezes, de forma artesanal em fundo de quintais nas periferias das grandes cidades. Aqui, como em alguns países asiáticos, parcelas da população reforçam o orçamento familiar às custas da venda de sucatas metálicas e restos de eletrodomésticos e/ou fios elétricos. Neste caso, busca-se o lucro com a venda do cobre nos diversos depósitos de recepção de metais usados,

o popular “ferro-velho”, presente no cotidiano da população das periferias brasileiras.

5.1 | A questão do lixo no Brasil

No Brasil, um dos principais problemas com relação ao meio ambiente atualmente é o que fazer com o lixo urbano. A questão sobre os locais de disposição final do lixo, seja de origem eletrônica ou não, ainda é um problema a ser solucionado. Existe, em especial nas grandes cidades, a preocupação sobre onde e como efetuar o seu descarte.

No dia 02 de agosto de 2010, o presidente Luis Inácio Lula da Silva sancionou a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) após cerca de duas décadas de discussão sobre o assunto. Trata-se, sem dúvida, de um passo importante para o país na questão relacionada ao lixo. Entretanto, os fabricantes de *notebooks* ainda não estão preparados para cumprir um dos princípios básicos da PNRS: o descarte de produtos eletroeletrônicos. Pelo menos é o que demonstra uma pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (Idec) divulgada pela mídia cerca de duas semanas após o lançamento do PNRS (SAMPAIO, 2010). Segundo a pesquisa, o Idec realizou a avaliação de treze fabricantes e o resultado mostra que apenas um encontra-se em condições de oferecer informações sobre o descarte de seus equipamentos. A pesquisa revela ainda que consultar o Serviço de Atendimento ao Consumidor (SAC) das empresas sobre como efetuar o descarte do equipamento após o seu ciclo de vida mostra-se uma tarefa infrutífera, tendo em vista a falta de informações disponíveis sobre o tema.

Dados do Instituto de Pesquisa Aplicada (IPEA) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) divulgados em agosto de 2010 na mídia fluminense (DUARTE, 2010) mostram

que mais da metade dos municípios brasileiros (3.427 do total de 5.565) não tem destinação adequada do lixo urbano. Dos 55,7 milhões de domicílios do país, 7 milhões ainda não têm coleta urbana. Do total de resíduos sólidos de origem urbana no país, em 2009, 43,2% tinham destino inadequado, indo para lixões ou aterros controlados. Mais de 40% das cidades do país sequer possuíam iniciativas de coleta seletiva de lixo.

Segundo o mesmo levantamento citado, estima-se que uma quantia de R\$ 8 bilhões poderia ser gerada caso todo o material potencialmente reciclável fosse encaminhado para a reciclagem. Atualmente, todo este volume é encaminhado para lixões e aterros distribuídos em todo o país.

Segundo o Instituto Estadual de Meio Ambiente (INEA) há pelo menos 98 lixões irregulares em operação no estado do Rio de Janeiro. A este número são somados mais 12 lixões inativos (MAGALHÃES, 2010). Apenas na capital do estado, segundo a Secretaria Municipal de Meio Ambiente, existem 6 lixões clandestinos. Entretanto, segundo o próprio presidente da Comissão de Meio Ambiente da Assembléia Legislativa (Alerj), André Lazzaroni, o número de lixões no estado pode ser bem maior. Acredita-se que o total de lixo gerado alcance 7.189 toneladas/dia e, deste total, segundo a Associação Brasileira de Resíduos Especiais (Abrelpe), 36% não é passível de destinação adequada. As estimativas apontam, ainda, para uma quantidade de 879 toneladas que sequer são recolhidas (O DIA ONLINE, 2009).

Estes valores poderiam ser piores, tendo em vista que o depósito de lixo situado no Jardim Gramacho, no município de Duque de Caxias, foi considerado durante o levantamento citado acima, como aterro sanitário; muito embora, o Inea não o considere como tal, já que o aterro em Jardim Gramacho é utilizado apenas como remediação e encerramento, apesar de

possuir estrutura para aproveitamento do gás metano e controle de estabilidade do solo [O GLOBO ONLINE, 2010(2)]. Sendo assim, o percentual de 36% chegaria a 76% de destinação inadequada de resíduos. O depósito em Jardim Gramacho começou a funcionar em 1978, em uma área que ocupa 1,3 milhão de metros quadrados, recebendo lixo dos municípios do Rio de Janeiro, Duque de Caxias, São João de Meriti, Queimados e Nilópolis. Segundo técnicos, a estimativa de utilização deste aterro sanitário é o ano de 2012 ou, na melhor das hipóteses, até o ano de 2016 (O DIA ONLINE, 2009).

6 | CONCLUSÕES

Em decorrência da aceleração em termos de inovações tecnológicas e do intenso mercado que continua em franca aceleração, a taxa de crescimento na geração de sucatas eletrônicas apresenta crescimento acentuado. Previsões de diferentes fontes mostram que esta taxa de crescimento na disposição final deste tipo de material apontam para a manutenção desta tendência.

No Brasil, a questão do lixo é um assunto importante e delicado. No Rio de Janeiro, há por exemplo, segundo a imprensa local, uma proliferação de aterros sanitários clandestinos. Tais aterros recebem uma infinidade de rejeitos sem qualquer tipo de tratamento e seu potencial de impactar o ambiente é considerável.

É importante desenvolvimento e aplicação de técnicas que propiciem a recuperação de materiais, cujo valor agregado interessa ainda ao mercado eletrônico e/ou elétrico, constituindo uma fonte alternativa de matéria-prima para o setor. Além disso, remover as substâncias tóxicas presentes nos resíduos de origem eletrônica pode criar uma via que poderá se tornar, entre outros, um redutor do volume final deste tipo de descarte.

7 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, L. A. D. & SOBRAL, L. G. S. Obtenção de ouro a partir de minérios refratários por eletrooxidação. 57º Congresso Anual da ABM, 22 a 25 de julho de 2002, São Paulo, SP.
- BRANDÃO, T. Estudo revela que um terço dos detritos produzidos diariamente no estado do Rio é jogado em lixões. O GLOBO ONLINE, Rio de Janeiro, 25 de maio de 2010. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/rio/mat/2010/05/25/estudo-revela-que-um-terco-dos-detritos-produzidos-diariamente-no-estado-do-rio-jogado-em-rios-ou-lixoes-916692045.asp>>. Acesso em: 25/07/2010.
- BRANDL, H., BOSSHARD, R. & WEGMANN, M. Computer-munching microbes: metal leaching from electronic scrap by bacteria and fungi. *Hydrometallurgy* 59 (2001) 319-326
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio ambiente. Resolução 257 de 2/6/1999.
- CHIEN, Y.-C., WANG, H. P., LIEN, K.-S. & YANG, Y. W. Oxidation of printed circuit board wastes in supercritical water. *Wat. Res.* Vol. 34, No. 17, pp. 4279-4283, 2000.
- CUI J. Mechanical Recycling of Consumer Electronic Scrap. Licenciante Thesis. Department of Chemical Engineering and Geosciences, Division of Mineral Processing. Luleå University of Technology, 2005.
- CUI, J. & FORSSBERG, E. Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review. *Journal of Hazardous Materials* B99 (2003) 243-263.
- CUI, J. & ZHANG, L. Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review. *Journal of Hazardous Materials* 158 (2008) 228-256.
- DUARTE, A. Entre o aterro e o lixo do mangue. *Jornal O GLOBO*, Rio de Janeiro, p. 14, 15 de agosto de 2010.
- HE, W., LI, G., MA, X., WANG, J., XU, M. & HUANG, C. WEEE recovery strategies and the WEEE treatment status in China. *Journal of Hazardous Materials* B136 (2006) 502-512.

HUANG, K., GUO, J. & XU, Z. Recycling of waste printed circuit boards: A review of current technologies and treatment status in China. *Journal of Hazardous Materials* 164 (2009) 399-408.

GOOGLE MAPS. Disponível em: < <http://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR&tab=w>>. Acesso em: 27/07/2010.

GUO, J., GUO, J., CAO, B., TANG, Y. & XU, Z. Manufacturing process of reproduction plate by nonmetallic materials reclaimed from pulverized printed circuit boards. *Journal of Hazardous Materials* 163, (2009) 1091-1025.

ILYAS, S., ANWAR, M. A., NIAZI, S. B. & GHOURI, M. A. Bioleaching of metals from electronic scrap by moderately thermophilic acidophilic bacteria. *Hydrometallurgy* 88, (2007) 180-188.

ILYAS, S., RUAN, C., BHATTI, H. N., GHOURI, M. A. & ANWAR, M. A. Column bioleaching of metals from electronic scrap. *Hydrometallurgy* 101, (2010) 135-140.

KANG, H.-Y. & SHOENUNG, J. M. Electronic waste recycling: A review of U. S. infrastructure and technology options. *Resources Conservation & Recycling* 45 (2005) 368-400.

LI, J., LU, H., ZU, Z. & ZHOU, Y. Critical rotational speed model of the rotating roll electrode in corona electrostatic separation for recycling waste printed circuit boards. *Journal of Hazardous Materials* 145 (2008) 331-336.

LONG, L., SUN, S., ZHONG, S., DAI, W., LIU, J. & SONG, W. Using vacuum pyrolysis and mechanical processing for recycling waste printed circuit boards. *Journal of Hazardous Materials* 177 (2010) 626-632.

MACÊDO, M. I. F., TRINDADE, R. B. E. & SOARES, P. S. Alternativas de processos hidrometalúrgicos para reciclagem de pilhas domésticas usadas. XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Novembro, 2002.

MAGALHÃES, L. E. Estado do Rio tem 98 lixões irregulares. O GLOBO ONLINE, Rio de Janeiro, 18 de abril de 2010. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/rio/mat/2010/04/18/estado-do-rio-tem-98-lixoes-irregulares-916375407.asp>>. Acesso em 18/08/2010.

- MOHABUTH, N. & MILES, N. The recovery of recyclable materials from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) by using vertical vibration separation. *Resources, Conservation and Recycling* 45 (2005) 60-90.
- MOHAN, S. & GANDHIMATHI, R. Removal of heavy metal ions from municipal solid waste leachate using coal fly ash as an adsorbent. *Journal of Hazardous Material* 169 (2009) 351-359.
- NIU, X. & LI, Y. Treatment of waste printed wire boards in electronic waste for safe disposal. *Journal of Hazardous Materials* 145 (2007) 410-416.
- NNOROM, I. C., OHAKWE, j. & OSIBANJO, O. Survey of willingness of residents to participate in electronic waste recycling in Nigeria – A case study of mobile phone recycling. *Journal of Cleaner Production*. 17 (2009) 1629-1637.
- O DIA ONLINE. Lixo com tratamento especial. O DIA ONLINE, Rio de Janeiro, 09 de maio de 2009. Disponível em: < http://odia.terra.com.br/portal/cienciaesaude/vidaemeioambiente/html/2009/5/lixo_com_tratamento_especial_11162.html > Acesso em: 25/07/2010.
- OSIBANJO, O. & NNOROM, I. C. Material flows of mobile phones and accessories in Nigeria: Environmental implications and sound end-of-life management options. *Environmental Impact Assessment Review* 28 (2008) 198-213.
- PARK, Y. J & Fray, D. J. Recovery of high purity precious metals from circuit boards. *Journal of Hazardous Materials* 164 (2009) 1152-1158.
- REUTERS. Relatório da ONU vê explosão de lixo eletrônicos em 2020. Portal G1 – GLOBO.COM. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/Tecnologia/0,,MUL15002096174_00.html>>. Acesso em: 26/05/2010.
- SAMPAIO, N. Para onde vai o lixo eletrônico? *Jornal O GLOBO*, Rio de Janeiro, p. 36, 15 de agosto de 2010.
- SOUZA, R. M. P., LEÃO, V. A. & PINA, P. S. Remoção de metais pesados em resíduos sólidos: o caso das baterias de celular. *REM: Esc. Minas, Ouro Preto* 58(4): 375-479, out. dez. 2005.

SVTC. Silicon Valley Toxics Coalition and BAN (The Basel Action Network). "Exporting Harm – The High-Tech Trashing of Asia. February, 2002.

TANGE, L. & DROHMANN, D. Waste electrical and electronic equipment plastics with brominated flame retardants – from legislation to separate treatment – thermal processes. *Polymer Degradation and Stability* 88 (2005) 35-40.

UMICORE. Disponível em: <[http:// electronicscrap.umicore.com/-process/>10](http://electronicscrap.umicore.com/-process/>10)> Acesso em: 01/07/2010.

UNEP, United Nations Environment Programme & United Nations University. Sustainable Innovation and Technology Transfer Industrial Sector Studies. "Recycling from E-Waste to resources. July, 2009.

USEPA, .United States Environmental Protection Agency. Disponível em: <<http://www.epa.gov/>>. Acesso em: 28/07/2010.

VELDBUIZEN, H. & SIPPEL, B. Mining discarded electronics. *Ind. Environ.* 17 (3) (1994) 7.

WIDMER, R., OSWALD-KRAPF, H., SINHA-KHETRIWAL, D., SCHNELLMANN, M. & BÖNI, H. Global perspectives on e-waste. *Environ. Impact Assess. Rev.* 25 (2005) 436-458.

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2010, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, cerca de 200 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

Últimos números da Série Tecnologia Ambiental

STA-56 - Avaliação da biodisponibilidade de contaminantes orgânicos em solo contaminado. Maria Clara S. C. L. Telhado, Selma Gomes Ferreira Leite, Andréa Camardella de Lima Rizzo, Danielle Reichwald e Cláudia D. da Cunha, 2010.

STA-55 – Utilização de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos tropicais. Ramires Ventura Machado, Roberto Carlos da C. Ribeiro, Felipe Vaz Andrade, Renato Ribeiro Passos e Luiz Felipe Mesquita, 2009.

STA-54 – Aplicação de resíduos de mármore na produção de cosméticos. Carolina Nascimento de Oliveira, Roberto Carlos da Conceição Ribeiro e Joedy Patrícia Cruz Queiroz, 2010.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ
Geral: (21) 3867-7222
Biblioteca: (21) 3865-7218 ou 3865-7233
Telefax: (21) 2260-2837
E-mail: biblioteca@cetem.gov.br
Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

NOVAS PUBLICAÇÕES

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.