

CARACTERIZAÇÃO DE MÍDIAS DE ARMAZENAMENTO VISANDO À RECICLAGEM¹

*Lídia Gomes Barbosa*²
*Denis Massucatto*³
*Claudio Parra De Lazzari*⁴
*Jorge Alberto Soares Tenório*⁵
*Denise Croce Romano Espinosa*⁶

Resumo

O objetivo do trabalho é estudar a caracterização dos CD's e DVD's adquiridos por meio de doação do CEDIR - Centro de Descarte e Reuso de Resíduos de Informática, visando à reciclagem. As mídias de armazenamento óptico são um exemplo dos resíduos gerados pelo avanço tecnológico. Compostas por uma base de policarbonato e uma fina camada metálica, sua reciclagem apresenta-se atraente e benéfica ao meio ambiente. Para verificar os metais presentes e a espessura da camada refletiva das mídias, foi utilizada a análise por microscópio eletrônico de varredura acoplado com equipamento de espectroscopia de energia dispersiva de raio X. Após a coleta e separação, o material foi submetido a análises física e química, através de processamento mecânico (cominuição e separação granulométrica), hidrometalúrgica (lixiviação) e pirometalúrgica (perda ao fogo). Este trabalho vem contribuir para a redução do impacto ambiental, mostrando o valor agregado das mídias por meio de sua composição e a possível utilização dos materiais recuperados.

Palavras-chave: CD; Sucata eletrônica; Reciclagem; Recuperação de metais.

CHARACTERIZATION OF OPTICAL STORAGE MEDIA FOR RECYCLING

Abstract

The purpose of this study is characterize the CD's and DVD's donated by CEDIR - Centro de Descarte e Reuso de Resíduos de informática, as purpose recycle. The optical storage media for example are residue generate by technology development. The media are composed of a polycarbonate base and thin metal recycling and then the recycle represent an attractive benefit for environment. Through the analysis by Scanning Electronic Microscopy with coupled X – ray dispersion energy spectrometer was made to check which metal present and the layer ply reflective. After collecting the material was subjected those analyses as physical, through mechanical processing (comminution and size separation), hydrometallurgy (leaching) and pyrometallurgical (waste of fire). This work contributes to reducing the environmental impact; through possibility recycle this material that has added value.

Key words: CD; Electronic Scrap; Recycling; Metal Recovery.

¹ *Contribuição técnica ao 12º Seminário de Metais Não-ferrosos, 31 de outubro a 1 de novembro de 2011, São Paulo, SP.*

² *Aluna de Iniciação Científica, Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC).*

³ *Doutorando, Universidade de São Paulo (USP).*

⁴ *Professor, FAAP, FATEC e SENAI, Pós-Doutor em Eng. Metalúrgica.*

⁵ *Professor Titular, Universidade de São Paulo (USP), Pós-Doutor em Eng. Metalúrgica.*

⁶ *Professora Associada, Universidade de São Paulo (USP), Pós-Doutora em Eng. Metalúrgica.*

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o rápido avanço na tecnologia tem gerado melhores condições de vida, garantindo maior agilidade na execução de tarefas e facilitando ações de algumas atividades rotineiras. Porém, este avanço tem gerado grave problema ambiental.

O consumo desenfreado, o acelerado desenvolvimento tecnológico, as facilidades de pagamento e aquisição de créditos para a compra dos aparelhos eletrônicos têm causado um aumento no acúmulo do lixo eletrônico.

A cada ano, novos produtos são lançados no mercado com maior capacidade de armazenamento de informações, novo *design* e novas funções, a preços compensadores. Essas facilidades têm incentivado muitos consumidores a trocarem seus eletroeletrônicos ainda em perfeitas condições de uso por novas tecnologias apenas para estarem atualizados, tornando-os obsoletos.

De acordo com dados da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, no ano de 2010, o faturamento neste setor teve um crescimento de 11% (R\$ 124 bilhões) em relação ao ano anterior (R\$ 112 bilhões), representando um aumento no consumo de equipamentos.⁽¹⁾

No Brasil, o mercado de computadores superou em 17% o ano de 2009 atingindo 14 milhões de unidades. A previsão para 2011 é de R\$ 139,7 bilhões; um crescimento de 12% em relação a 2010.⁽¹⁾

Com a rápida evolução do setor eletrônico, o ciclo de vida dos equipamentos no país tem reduzido. Os computadores são substituídos a cada quatro ou cinco anos, e os celulares em menos de dois anos.⁽²⁾ Estes aparelhos, ao serem descartados de forma inadequada, contribuem para a poluição do meio ambiente.

Estima-se que cerca de 50 milhões de toneladas de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos gerados por ano, representa 5% de todo resíduo mundial de acordo com pesquisa realizada pela ONG Greenpeace.⁽³⁾

Estes resíduos são compostos de materiais poliméricos, cerâmicos e metálicos presentes em placas de circuitos impressos, celulares, CD's, DVD's e monitores.

O problema gerado por esse lixo causa, além de impacto ao meio ambiente, prejuízo à saúde humana, devido à quantidade de metais pesados presentes, tais como chumbo, cádmio e mercúrio. Além desses, as sucatas também contêm metais preciosos que tornam sua reciclagem atraente.⁽⁴⁾

O grave problema enfrentado está relacionado à forma de descarte deste lixo, que não deve ser jogado em lixões e aterros sem nenhuma seleção ou tratamento adequado dos materiais tóxicos para se evitar a contaminação do solo e lençóis freáticos.

O descarte incorreto, a riqueza na composição dos materiais, a possibilidade de serem reutilizados e reciclados gerou interesse de pesquisas científicas, empresas e cooperativas em pesquisar tecnologias para reutilização das sucatas.

1.1 Prata

A prata é um metal nobre que apresenta coloração branca em seu estado natural.⁽⁵⁾ Possui propriedades como maleabilidade, ductilidade, boa resistência elétrica e oxidação, alta condutividade térmica e elétrica.

Este metal é encontrado em apenas 1/3 dos depósitos de reservas mundiais; os 2/3 restantes estão associados como subprodutos de minerais cobre, ouro, chumbo e

zinco.⁽⁶⁾ O valor comercial deste metal tem aumentado devido a pouca quantidade extraída de reservas finitas, custando em torno de R\$ 1.500,00 por quilograma.⁽⁷⁾

O consumo de prata no Brasil representou um aumento de 31% quando comparando entre os anos de 2006 que foi de 186.600 kg e em 2007, quando alcançou 245.800 kg.⁽⁶⁾

A prata é utilizada em diversas áreas, como para revelação de fotografias, soldas, contatos elétricos, fabricação de jóias e equipamentos elétricos e eletrônicos.

1.2 Policarbonato

Os polímeros correspondem à classe de materiais mais utilizados nas tecnologias modernas, devido a sua propriedade isolante e a baixa constante dielétrica. São classificados em termoplásticos e termofixos.⁽⁸⁾

Os termoplásticos são a categoria dos plásticos mais reciclados devido à facilidade de serem reprocessados várias vezes e pelo fato de que, quando aquecidos, amolecem, permitindo sua conformação. Ao contrário dos termofixos que após serem conformados não é possível reprocessá-los, pois não fundem novamente.⁽⁹⁾

O Policarbonato (PC) é um polímero termoplástico transparente e amorfo, derivado da reação do ácido carbônico e compostos di-hidroxilados aromáticos ou alifáticos, estes podem ser obtidos pela reação entre o bisfenol A e o fosgênio em meio alcalino. São caracterizados por conterem os grupos carbonatos (-OCOO-) em sua cadeia.^(9,10)

Conhecido como plástico de engenharia de uso geral, por ser considerado material estável durante algum período quando submetidos a esforços mecânicos, térmicos, elétricos, químicos ou ambientais. Em geral, são caros devido sua obtenção e formação mais elaborada.

Podem ter suas propriedades melhoradas ou reforçadas pela adição de ABS resultando em facilidade de processamento, aumento da resistência térmica e ao impacto. Materiais fabricados com esta resina aderem bem à impressão gráfica podem ser usinados, colados, soldados e metalizados.⁽¹⁰⁾

Este material é bem utilizado na indústria de componentes elétricos e eletrônicos onde se encontra 50% de sua produção, até a fabricação de pára choque de automóveis, artigos esportivos, lentes para óculos de segurança, discos compactos e etc.⁽¹⁰⁾

1.3 História das Mídias

Com resultado do desenvolvimento tecnológico e o aumento na quantidade de arquivos, em 1980, as indústrias Phillips e Sony lançaram no mercado os discos de áudio⁽¹¹⁾ que revolucionaram a forma de armazenamento e reprodução da informação, tornando a prática, rápida e compacta; facilitando o acesso através de banco de dados e eliminando pilhas de papéis antigos devido à maior capacidade de armazenamento.

Porém, antes de chegarem aos discos compactos, os meios de armazenamento de informações passaram por um longo processo de evolução que iniciou com os tradicionais papéis, cartões perfurados, seguidos pelas fitas magnéticas, discos de vinil, discos de 5 ¼ polegadas, disquetes de 3 ½ polegadas, zip drives até os discos compactos (*compact disc* – CD) e discos vídeos digitais (*digital video discs* – DVD) de diferentes modelos como o CD-ROM, CD-R, CD-RW, DVD-ROM, DVD-R e DVD-RW, utilizados com frequência em ambientes domésticos e industriais.⁽¹²⁾

A produção mundial de discos ópticos em 2003 foi em torno de 7 bilhões de unidades entre CD's e DVD's. A produção nacional em 2009 de CDs foi de 317,611 milhões de unidades.^(13,14)

O consumo excessivo de CDs e DVDs piratas, o surgimento de novos dispositivos como *pen-drives*, HD externos, a falta de projetos que conscientizem a população e fiscalizassem empresas; tem elevado o descarte inadequado das mídias agravando mais o problema.

Dados obtidos da *Software Manufacturer's Association* – USA estima-se que do processo de manufatura até o consumidor final 10% dos CDs e DVDs são descartados e menos de 30% dos CD-ROM são reciclados.^(15,16)

Para ajudar a reduzir o descarte inadequado deste resíduo, existem iniciativas para reciclagem já desenvolvidas com êxito em Taiwan e na Espanha.^(17,18) Porém, no Brasil, pouco se encontra sobre reciclagem direcionada as mídias. Os projetos existentes focam na reciclagem do policarbonato e não do metal.⁽¹⁹⁾

Os CDs e DVDs são discos constituídos de aproximadamente 4 camadas com diâmetro de 12 cm e espessura de 1,2 mm, montados sobre uma base de policarbonato que permite a passagem da luz onde estão impressas as gravações, sobre esta existe uma fina película metálica (prata, alumínio, ouro) que reflete a luz permitindo a leitura de dados, por fim é colocada uma camada para proteção contra raios ultravioleta e o rótulo com informações sobre a mídia.⁽¹⁹⁻²¹⁾

O problema ambiental gerado por este resíduo e o valor agregado as mídias tem despertado interesse de empresas e universidades em desenvolver projetos de reciclagem e recuperação dos materiais. Porém, para se realizar algum destes projetos, é preciso conhecer a composição das mídias, através de métodos de caracterização (cominuição, lixiviação, microscopia de varredura e pirólise) que permitam o desenvolvimento de um futuro método de recuperação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Coleta e Processamento Mecânico

Cerca de 6 kg de CD-ROM, 3,0 kg CDs-R e 2,6 kg de DVDs fornecidos pelo CEDIR - Centro de Descarte e Reuso de Resíduos de Informática foram separados e armazenados para serem utilizados no processamento mecânico, hidrometalúrgico e pirometalúrgico.



Figura 1. Sucatas de CD-R, CD-RW, CD-ROM, DVD-R.⁽²²⁾

2.2 Cominuição

Após a coleta e separação da amostra, foi realizada a moagem das mídias de diversas marcas para se obter maior quantidade da amostra para o processo de lixiviação, aumentar a área de contato e melhor penetração do ácido na amostra.

Em seguida, foi realizada a moagem de 2,414 kg de CD-ROM, 2,021 kg de CD-R e 2,179 Kg de DVDs em moinho de facas marca Rone, modelo FA 2305, com grelha de 8 mm.

Após a pesagem do material moído, foi calculada a perda de massa no processo pela diferença de massa inicial e final. Este foi armazenado para quarteamento.

2.3 Quarteamento

Foram realizados processos de quarteamento com amostras de CDs e DVDs. Em cada um dos processos foram separadas amostras com cerca de 150 g, 10 g, 4 g e 2 g para a classificação granulométrica, ensaios de caracterização, pirólise e testes de recuperação de metais.

Devido ao volume e a melhor distribuição uniforme da amostra, foi utilizado o quarteamento de pilhas longitudinais ao invés de tronco de cone.



Figura 2. Pilha Longitudinal.

O material moído foi distribuído sobre uma superfície limpa e lisa em linha reta da esquerda para a direita e da direita para esquerda tomando o cuidado para que o material alcançasse toda a extensão da pilha em cada fiada. Em seguida, as extremidades foram cortadas e redistribuídas sobre a pilha.⁽²³⁾

Foram cortadas e pesadas secções transversais da pilha para retirada de frações de 150 g e 100 g. Repetiu-se o processo para a amostra de aproximadamente 100 g e retirada das amostras de 40 g e 60 g.

Foi utilizado o método de pilhas cônicas para amostras de 40 g e 60 g com o intuito de garantir melhor homogeneidade do material e retirar amostras menores de 10 g, 4 g e 2 g.

O material foi arranjado homogeneamente em forma de cone. Em seguida, foi dividido em quatro partes, das quais foram retiradas duas frações em diagonal que representaram a quantidade de amostra requerida e as outras duas rejeitadas.⁽²³⁾



Figura 3. Quarteamento em Cone.

2.4 Classificação Granulométrica

As amostras de CD-ROM, CD-R e DVD com aproximadamente 200 g, 163 g e 154 g respectivamente foram submetidas à classificação granulométrica em peneiras vibratórias com malhas 7,93 mm (ASTM 5/16", Mesh/Tyler 5/16"), 4,76 mm (ASTM 4, Mesh/Tyler 4), 2,00 mm (ASTM 10, Mesh/Tyler 9), 1,00 mm (ASTM 18, Mesh/Tyler 16), 0,50 mm (ASTM 35, Mesh/Tyler 32), 0,25 mm (ASTM 60, Mesh/Tyler 60), Fundo.

Antes de iniciar o experimento, as peneiras foram pesadas para o cálculo do material retido em cada peneira ao final do experimento. Em seguida estas foram colocadas sobre mesa vibratória marca Bertel, nº 3340, permanecendo durante 15 minutos.

2.5 Análise Química

Com o intuito de verificar a massa de metal retirada, foi realizada a lixiviação com ácido nítrico (HNO_3)⁽²⁴⁾ na concentração 4M para amostras quarteadas de CD-ROM, CD-R e DVD com aproximadamente 10 g. Evitou-se a utilização de água régia para que não ocorresse a precipitação de AgCl impedindo a quantificação do metal por análise química.

Foi preparada solução de 500 ml com concentração de 4M contendo 70 ml de ácido nítrico concentrado 14,3 M, retirou-se alíquota na razão sólido/líquido 1:10 (4M) para a reação com as amostras das mídias cominuídas, estas permaneceram em solução durante 24 horas em temperatura ambiente sobre agitador magnético.

Em seguida, a solução foi filtrada, separando o líquido resultante da lixiviação e o material retido no filtro, que permaneceu em estufa por 24 horas para a completa secagem do resíduo permitindo a pesagem e o cálculo da porcentagem de metal lixiviado.

Foram realizadas a análise qualitativas com adição de pequenas alíquotas de HCl aos licores de lixiviação para a verificação do metal presente em solução. Para análise precisa da composição os licores foram encaminhados à análise quantitativa por Espectrometria de Emissão Óptica em Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES).

2.6 Análise Qualitativa e Micrografia

Foi utilizada uma pequena amostra das mídias no estado coletado para observação de algumas regiões no microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo XL-30 Philips acoplado com equipamento de espectroscopia de energia dispersiva de raio X (EDS) para análise da micrografia (forma da superfície e espessura da camada metálica) e composição química das mídias. As amostras foram cortadas manualmente em forma de lâminas e partículas utilizando máquina de corte com disco de diamante marca Buehler. Para análise morfológica as amostras foram recobertas com ouro segundo exigência do equipamento para condução de corrente.

2.7 Perda ao Fogo

Para a caracterização dos materiais foi utilizado forno mufla, marca Grion, nº 942, fase 2, 60 ciclos. A amostra em cadinho de alumina após pesagem foi colocada no forno a 800°C a uma taxa de aquecimento de 15°C/min, permanecendo durante

1 hora nesta temperatura. Em seguida o forno foi desligado e a amostra retirada após 12 horas de resfriamento.

O material calcinado (não volátil) correspondente à fração metálica presente na amostra foi pesado possibilitando o cálculo de massa do material volátil (polímero).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Cominuição

Com os resultados da cominuição das amostras de CD-ROM, CD-R e DVD, realizadas em moinho de facas marca Rone, foi possível observar que as partículas do CD-ROM apresentaram característica rígida e homogênea, enquanto as do DVD e CD-R mostraram-se heterogênea e frágil (quebradiça) dificultando o quarteamento. Mostrados na Figura 4.

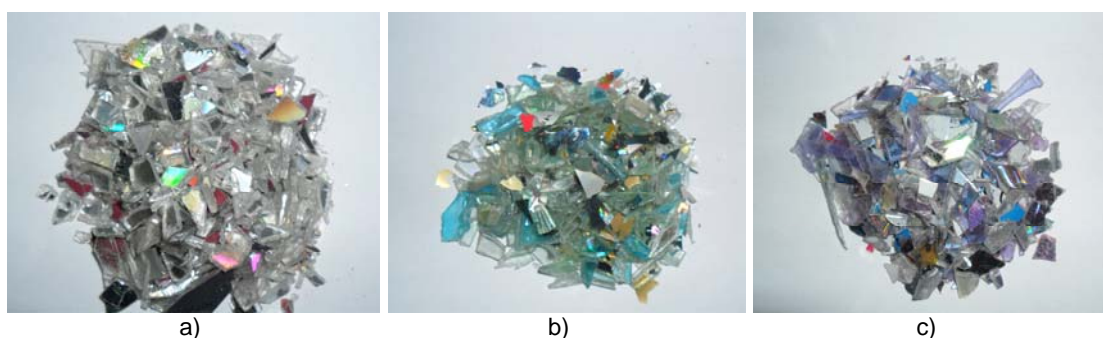


Figura 4. (a) CD-ROM; (b) CD-R; e (c) DVD.

Na moagem do material coletado houve perda de 3,33% para o CD-ROM, 0,56% para o CD-R e 0,96% para o DVD.

Os resultados indicam que as amostras não apresentaram perdas de massa representativas após a cominuição. As perdas devem-se ao fato de parte do material ficar retido sobre a base de fechamento entre as facas e a grelha do moinho e parte ser lançado para fora da caixa de coleta durante o processo devido ao impacto com o fundo da mesma.

A cominuição da sucata foi importante para garantir a eficiência no processo de lixiviação, permitindo utilizar amostras com tamanho reduzido.

Na seqüência, as amostras foram quarteadas e classificadas granulometricamente.

3.2 Quarteamento

Com os métodos de quarteamento por pilhas longitudinais e cônicas foi possível reduzir as amostras com aproximadamente 2 kg para tamanhos menores de 150 g, 100 g, 10 g, 4 g e 2 g, obtendo alíquotas homogêneas e necessárias para realização dos ensaios hidrometalúrgicos e pirometalúrgicos.

3.3 Classificação Granulométrica

As amostras quarteadas passaram por um processo de classificação granulométrica, obtendo-se os dados mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Porcentagens da amostra de CD-ROM obtida por classificação granulométrica

Abertura (mm)	Porcentagem Retida (%)		
	CD-ROM	CD-R	DVD
7,93	0,00	0,00	0,00
4,76	4,87	7,06	19,61
2,00	75,73	80,83	62,30
1,00	18,11	11,39	16,10
0,50	0,97	0,50	1,42
0,25	0,10	0,05	0,21
Fundo	0,05	0,14	0,36
Total	99,85	99,97	100

De acordo com as tabelas acima, foi possível observar que 80,60%, 87,89% e 81,91% das amostras de CD-ROM, CD-R e DVD respectivamente, concentraram a maior fração das amostras acima de 1 mm, caracterizando-as com granulometria grossa, uma menor parte das amostras apresentam granulométrica fina inferior a 1 mm.

3.4 Análise Química

Analisando-se os resultados mostrados na Tabela 2, estimou-se a porcentagem em massa de metal presente no CD-ROM, CD-R e DVD moídos em grelha de 8 mm que permitiu um aumento na área de contato facilitando o ataque do ácido.

Tabela 2. Massa solubilizada das amostras de CD-ROM, CD-R e DVD

Mídia	Lixivante	Concentração	Massa inicial	Massa final	Massa solubilizada	Massa solubilizada (%)
CD-ROM	HNO ₃	4 mol/L	10,0782 g	10,0420 g	0,0362 g	0,36
CD-R			10,0852 g	9,9971 g	0,0881 g	0,43
DVD			9,5463 g	9,4588 g	0,0875 g	0,92

Os resultados do ensaio mostraram diferenças nas massas solubilizadas das amostras, provavelmente devido às diferentes composições de metal, resultado dos processos produtivos que variam de marca para marca. No entanto, os valores se apresentam próximos, uma vez que se trata de uma camada metálica de espessura da ordem de micrômetros.

A adição de HCl à solução apresentou precipitado branco indicando a presença de prata nas amostras de CD-ROM e DVD.⁽²⁵⁾

3.5 Difratogramas e Micrografias

Conforme pesquisas realizadas a camada refletiva das mídias pode ser composta por prata, alumínio ou ouro.⁽¹⁹⁻²¹⁾

Os difratogramas obtidos com o microscópio eletrônico de varredura acoplado com EDS mostram os materiais presentes nas amostras com picos de alta, média e baixa intensidade, indicando o metal presente em maior e menor concentração, e a presença de polímero através de picos de carbono e oxigênio (Figura 5).

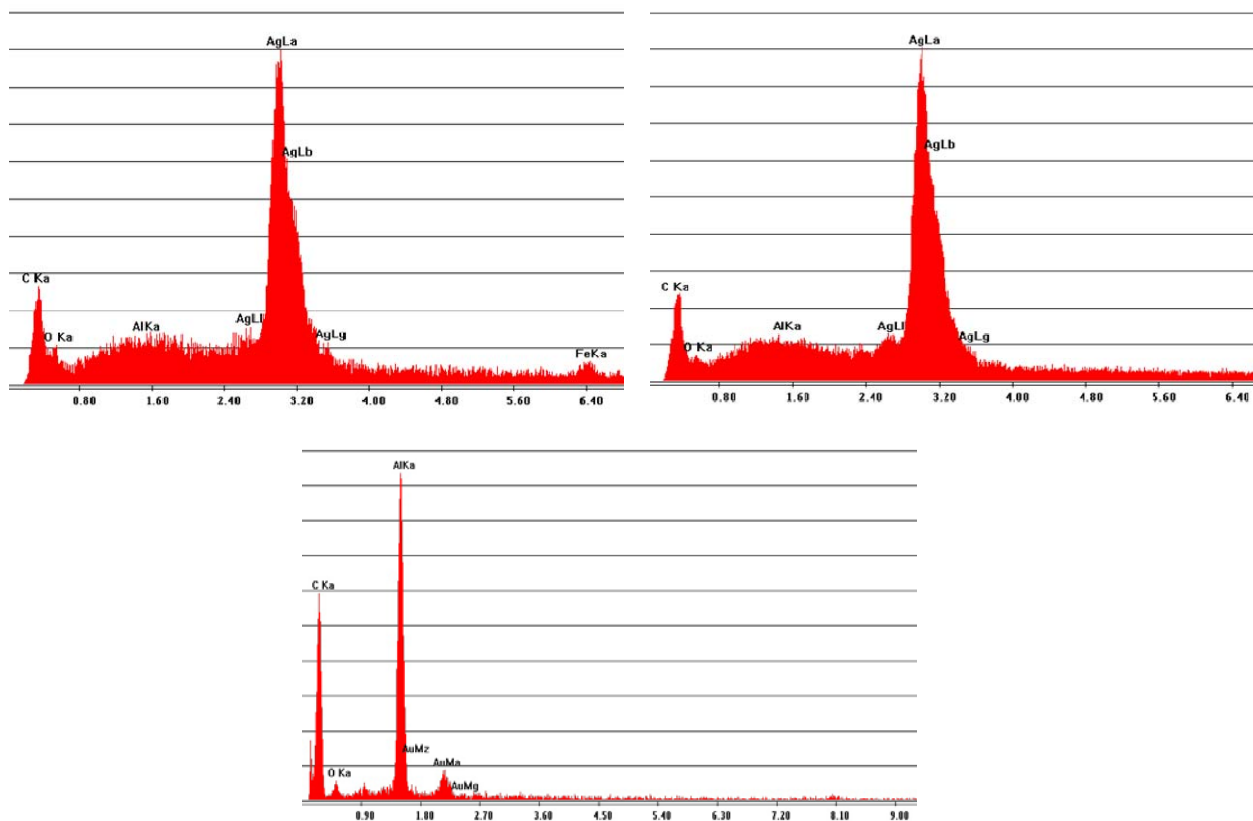


Figura 5. (a) Espectro de EDS das partículas do CD; (b) DVD; e (c) CD-ROM.

Os difratogramas das Figuras 5a e 5b mostram a presença de prata no CD-R e DVD. Na Figura 5c foi observado alumínio no CD-ROM (o ouro é decorrente da preparação da amostra segundo exigência do equipamento para condução de corrente).

A micrografia abaixo na Figura 6 mostra a espessura da camada de prata observada no DVD. A espessura média da camada foi de 839,33 nm.

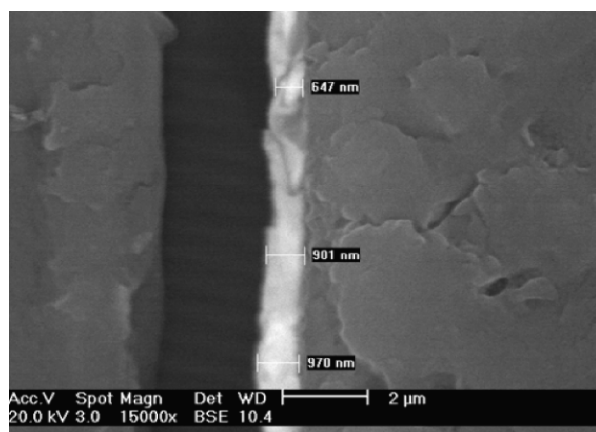


Figura 6. Espessura da camada de prata (DVD).

Na Tabela 3, foi possível comparar o valor do espaçamento entre as trihas das mídias encontrado na literatura com o medido no MEV.

Tabela 3. Diferença entre os espaçamentos das trilhas do CD e DVD⁽²⁶⁾

Mídia	CD (teórico)	CD (medido)	DVD (teórico)	DVD (medido)
Espaçamento entre as trilhas	1600 nm	1420 nm	740 nm	779 nm
Comprimento mínimo da Saliência	830 nm	727 nm	400 nm	623 nm

A Figura 7 mostra as micrografias do CD e DVD observadas no microscópio eletrônico de varredura (MEV). Foi verificado um menor espaçamento entre as trilhas do DVD o que permite maior armazenamento de dados.⁽²⁶⁾

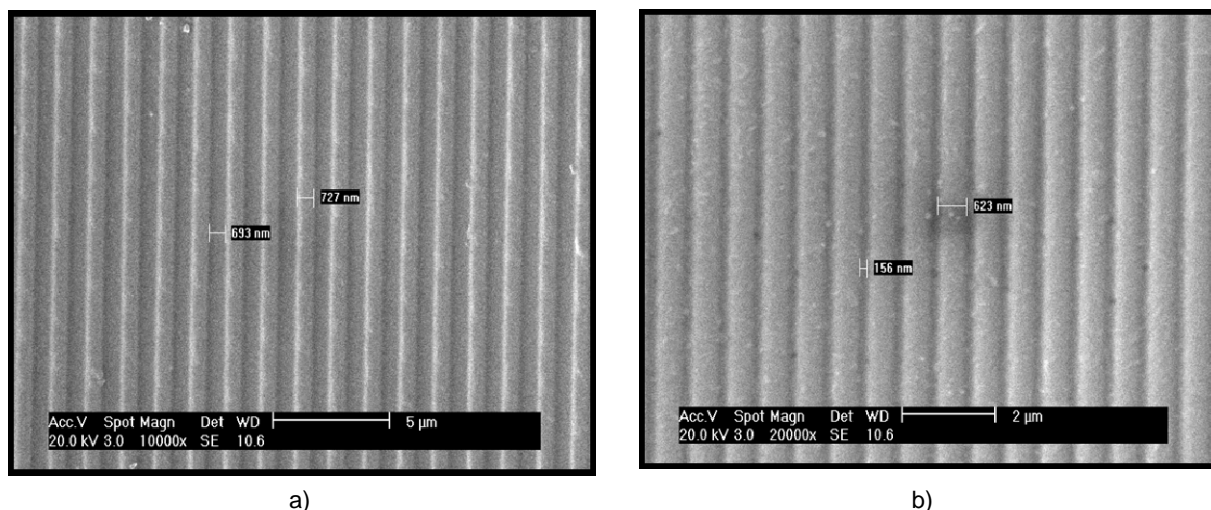


Figura 7. (a) Espaçamento entre as trilhas do CD, (b) Espaçamento entre as trilhas do DVD.

3.6 Perda ao Fogo

Com este ensaio foi possível comparar as massas solubilizadas do CD-R e DVD.

Tabela 4. Massa das amostras de CD-R e DVD na perda ao fogo

Mídia	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Massa final (%)	Massa volatilizada (%)
CD-R	2,192	0,005	0,23	99,77
DVD	2,301	0,006	0,26	99,74

A porcentagem de metal pode ser considerada equivalente quando se compara a Tabela 4 com a Tabela 2, uma vez que a pouca massa de material utilizada nas diversas etapas que envolvem o ensaio de lixiviação reduzem a precisão do ensaio. As variações nas porcentagens de policarbonato foram pouco representativas permanecendo em torno de 99,70% da composição das mídias.

4 CONCLUSÕES

Com base nos trabalhos pesquisados, conclui-se que a reciclagem das mídias é possível e já está sendo realizada em alguns países, porém no Brasil existe pouco estudo em relação a este assunto.

De acordo com os resultados obtidos, foi possível observar que a caracterização deste material envolve diversas técnicas devido à sua composição polimérica e metálica.

O processo de cominuição mostrou-se eficiente, sem perda representativa da amostra inicial e vantajosa para o processo de lixiviação, pois permitiu obter amostras de tamanhos menores, aumentando a área de contato com o ácido.

O método de remoção da camada metálica foi eficiente para solução ácida concentrada com 4M. A presença de prata e alumínio na camada refletiva foi confirmada pela análise dos difratogramas.

Portanto, pode-se afirmar que a reciclagem das mídias apresenta uma alternativa para redução dos impactos ambientais e custos industriais.

Agradecimentos

A FATEC, CNPq e USP pela concessão da bolsa de Iniciação Científica, apoio financeiro e infra-estrutura para realização dos experimentos.

REFERÊNCIAS

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **Desempenho Setorial**. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/abinee/decon/decon15.htm#perspec>, Acesso em: 20maio 2011.
- 2 MOREIRA, D. Brasil tem problema de estrutura e legislação para enfrentar lixo eletrônico. **Idg Now**, São Paulo, 22 out. 2007. Disponível em: http://idgnow.uol.com.br/computacao_pessoal/2007/04/26/idgnoticia.2007-04-25.2669597646/. Acesso em: 2 junho 2011.
- 3 COBBING, Madeleine. **Toxic Tech: Not in Our Backyard**. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2008/2/not-in-our-backyard.pdf>. Acesso em: 7/06/2011
- 4 MENETTI, R.P.; TENÓRIO, J.A.S. Reciclagem de metais preciosos a partir de sucata eletrônica. In: **Congresso Anual da ABM: Anuais São Pedro**, São Paulo, Agosto 1995. Vol.3. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, p.625 - 635.
- 5 DANA, J D. **Manual de Mineralogia**, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1969. vol.1, p.242.
- 6 DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br>, Acesso em: 10/12/2010.
- 7 Kitco Metals. KITCO. Disponível em: <http://www.kitco.com/market/>, Acesso em: 17 jan. 2011.
- 8 CALLISTER, W. D.,. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5ed. São Paulo: LTC, 2002, cap. 16, p.259.
- 9 PIVA, A.M; WIEBECK, H.,. **Reciclagem do Plástico**, São Paulo: Artliber, 2004, p.29, 41.
- 10 WIEBECK, H.; HARADA, J.,. **Plásticos de Engenharia**, São Paulo: Artliber, 2005, p.64, 109 -110,118.
- 11 JONES; RUSSELL. Compact disc technology: Developments and standards. **Butterworth & Co Publishers Ltd**. vol. 28, n 6, July/august,1986.
- 12 BODÊ, ERNESTO CARLOS. Estrutura de documentos eletrônicos: determinantes de condições climáticas, manuseio e armazenamento. **Revista Brasileira de Arqueometria, Restauração Conservação**, Brasília, vol. 1, n. 4, p.192-195, 2007.
- 13 THE JAPAN RECORDING – MIDIA INDUSTRIES ASSOCIATION. **Recordable dvd market – enters the era of full-scale global popularization**. The Japan Recording – Midia Industries Association. Tokio, novembro de 2003.
- 14 SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS. Disponível em: http://www.suframa.gov.br/suf_pub_noticias.cfm?id=8205, Acesso em: 12/01/2011



- 15 POHIMANN, K.C., **The Compact Disc**: A Handbook of Theory and Use, Madison, Wisc., AR Editions, 1989.
- 16 RIIHIMÄKI, J., CD - scrap recycling, In: **Internal Report Helsinki University of Technology**, Energy Engineering and Environmental Protection, Helsinki, 2001.
- 17 CEDERIKA RECYCLING SOLUTIONS. Disponível em: <http://www.cederika.com/>. Acesso em: 15 dez. 2010
- 18 Fayerwayer Brasil. Disponível em: <http://www.fayerwayer.com.br/2009/10/patenteado-um-processo-para-reciclar-cds-e-dvds/>. Acesso em: 15 dez. 2010
- 19 GIOVANELLA, J. et al . Reciclagem de materiais: estudo das propriedades mecânicas de policarbonato reciclado de discos compactos. **Matéria (Rio J.)**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 4, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762008000400010&lng=pt&nrm=isso, Acesso em: 07 jun. 2011.
- 20 RICHTER, Eduardo M. et al. **Aplicações eletroanalíticas com eletrodos de prata confeccionados a partir de CDs graváveis**. *Quím. Nova* [online]. 2003, vol.26, n.6, pp. 839-843. ISSN 0100-4042.
- 21 KOPYRITE. Disponível em: http://www.kopyrite.com/tech_dvd.htm, Acesso em: 30 maio 2011.
- 22 Mandala Mystica. Disponível em: <http://mandalamystica.com.br/wp-content/uploads/Mandala-em-CD5.jpg>, Acesso em: 12 set. 2011
- 23 SAMPAIO J. A., FRANÇA S. C. A., BRAGA P. F. A. **Tratamento de minérios. Práticas laboratoriais**. Rio de Janeiro: CETEM-MCT, 2007, p. 26, 27, 28, 29, 57, 67,68.
- 24 FUGITA, T.; DODBIBA, G.; MURATA, K. E IHASHI, T. Erasing data and recycling of optical disks. **Data Science Journal**. Japan, v.6, fev. 2007.
- 25 VOGUEL; A. **Química Analítica Quantitativa**. São Paulo: Mestre Jou, 1981, p. 215.
- 26 Nice, K. Como funcionam os DVDs. **Como tudo funciona**. Disponível em: <http://eletronicos.hsw.uol.com.br/dvd3.htm>, Acesso em: 19 jan. 2011.