

### I. INTRODUÇÃO

A substituição de monitores de tubos de raios catódicos (CRT) por monitores de cristal líquido (LCD) tem sido cada vez maior. Este fato deve-se aos LCD serem mais leves, mais finos, apresentarem maior economia de energia, não emitirem radiação e possuírem maior vida útil.

No primeiro semestre de 2011 foram vendidos no Brasil cerca de 7,4 milhões de computadores, tornando o país o terceiro maior mercado mundial de compradores. Dados apontam que foram produzidas cerca de 105 mil toneladas de resíduos de computadores no país, no ano de 2008.

O aumento nas vendas de computadores e televisores, fará com que aumente a geração deste tipo de resíduo. Uma maneira de diminuir o impacto causado pela geração de resíduos de computadores é a reutilização e reciclagem desses materiais, mas, para tanto, é necessário que seus componentes sejam conhecidos.



Figura 1 – Placa de circuito impresso.



Figura 2 – Lixo eletrônico.

Metal	Percentual (sobre massa da placa)
Prata - Ag	0,03%
Ouro - Au	0,028%
Alumínio - Al	1,13%
Cobre - Cu	1,44%
Estanho - Sn	4,74%
Níquel - Ni	0,12%
Zinco - Zn	0,06%
Ferro - Fe	0,38%
Chumbo - Pb	0,42%

Tabela 1 – Resultados da Espectroscopia AAS, após lixiviação.

Para os ensaios em meio denso, foram obtidas duas frações distintas: o afundado (componentes com densidade superior a 2,6g/cm³) e o flutuado (componentes com densidade inferior a 2,6g/cm³). Abaixo podem ser observados os resultados para as diferentes granulometrias de amostra.

Granulometria < 0,25mm:		
Massa Inicial: 100% • Massa Afundado: 61% • Massa Flutuado: 39%	Massa Afundado: 100% • Metais: 83% • Não-metais: 17%	Massa Flutuado: 100% • Metais: 19% • Não-metais: 81%

Quadro 1 – Resultados para granulometria <0,25mm.

Granulometria < 0,5mm:		
Massa Inicial: 100% • Massa Afundado: 64% • Massa Flutuado: 36%	Massa Afundado: 100% • Metais: 55% • Não-metais: 45%	Massa Flutuado: 100% • Metais: 39% • Não-metais: 61%

Quadro 2 – Resultados para granulometria <0,50mm.

Granulometria < 1,0mm:		
Massa Inicial: 100% • Massa Afundado: 54% • Massa Flutuado: 46%	Massa Afundado: 100% • Metais: 74% • Não-metais: 26%	Massa Flutuado: 100% • Metais: 20% • Não-metais: 80%

Quadro 3 – Resultados para granulometria <1,0mm.

Granulometria < 2,0mm:		
Massa Inicial: 100% • Massa Afundado: 36% • Massa Flutuado: 64%	Massa Afundado: 100% • Metais: 90% • Não-metais: 10%	Massa Flutuado: 100% • Metais: 51% • Não-metais: 49%

Quadro 4 – Resultados para granulometria <2,0mm.

### II. OBJETIVOS

Desenvolver rotas de reciclagem, a partir da caracterização dos metais presentes nas placas de circuito impresso (PCI), presentes em monitores LCD.

### III. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho seguiu a metodologia conforme o fluxograma geral abaixo.

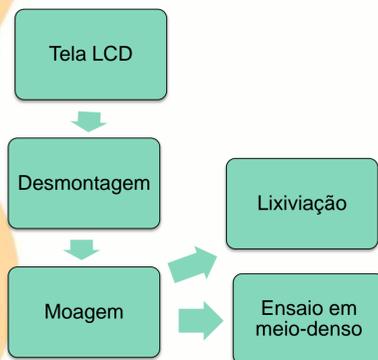


Figura 3 – Fluxograma da metodologia adotada.

**Desmontagem:** feita manualmente; separa as partes do monitor, incluindo as PCI's.

**Moagem:** moinho de martelos e moinho de facas.  
Granulometrias finais: <0,25mm, <0,5mm, <1,0mm e <2,0mm.

**Lixiviação:** dissolução dos metais presentes nas placas;  
- Aparelhagem: reator fechado com sistema de refluxo e resfriamento e termômetro;  
- Reagentes: água-régia (3 HCl: 1 HNO<sub>3</sub>).  
- Granulometria utilizada: <0,5mm;  
- Duração: 2h e 30min;  
→ Análise química: espectroscopia de Absorção Atômica por Chama.

**Ensaio em meio denso:** determinar a granulometria ideal para separação gravimétrica das placas;  
- Reagente: tetrabromoetano (95%; 2,6g/cm³);  
- Granulometrias utilizadas: <0,25mm, <0,5mm, <1,0mm e <2,0mm;  
→ Quantificação por diferença de massas;  
→ Lixiviação com água-régia;  
→ Análise química: espectroscopia AAS.

### IV. RESULTADOS

As placas de circuito impresso são compostas por diferentes metais, como pode ser observado na tabela abaixo.

### V. CONCLUSÕES

A partir da análise de espectroscopia de Absorção Atômica por Chama, após lixiviação, pode-se concluir que aproximadamente 10% da massa das placas é constituída por metais. Os metais presentes podem ser divididos em três classes, sendo elas:

- metais preciosos: ouro e prata;
- metais base: alumínio, cobre, estanho, níquel, zinco e ferro;
- metais tóxicos: chumbo.

Tendo em vista as diferentes aplicações de metais base como cobre, alumínio e estanho, e sua grande proporção nas placas, bem como a existência em proporções consideráveis de metais preciosos, como prata e ouro, pode-se concluir que a reciclagem possui alto interesse econômico. Também pode-se perceber que o chumbo ainda é utilizado nas soldas das placas (em pequena quantidade), apesar de, desde 2006, estar em vigor uma diretiva europeia que proíba sua utilização.

Com o ensaio em meio denso conclui-se que o tamanho da partícula é um fator importante na eficiência de separação dos metais e não-metais das placas. As partículas com granulometrias entre 0,25mm e 1,0mm apresentaram melhor liberação de metais, frente às outras granulometrias testadas.

**AGRADECIMENTOS:**  
CNPq

**CONTATO:**  
janinescherer@gmail.com