

Título da redação: O lixo eletrônico e sua preciosidade

A reciclagem de lixo eletrônico consiste no reaproveitamento de metais que já foram utilizados em algum tipo de processo de manufatura e foram descartados. A reciclagem é feita com a intenção de recuperar total ou parcialmente os elementos utilizados na produção do objeto em questão.^[1] Este tipo de processo pode ser a solução para diversas questões envolvendo mineração e problemas socioambientais.

Uma vez que a mineração predatória é uma das principais causadoras de violações de direitos humanos e de crimes ambientais em nosso país, empresas mineradoras transnacionais encontram no Brasil pouca legislação ambiental que regule a atividade de extração mineral e uma fiscalização ineficiente. É o que diz o relatório “DIREITOS HUMANOS NO BRASIL Informe da sociedade civil sobre a situação dos DhESC” produzido pelo Monitoramento dos Direitos Humanos No Brasil.^[2]

Infelizmente esse não é um problema exclusivamente brasileiro, segundo um artigo publicado pelo MIT (Massachusetts Institute Of Technology) países como a República Democrática do Congo e Malásia também possuem uma grande chaga social causada pela mineração, o estudo também afirma sérias perdas econômicas causadas pela mineração. Cerca de \$100 milhões foram gastos pela empresa estrangeira Mitsubishi em limpeza ambiental na região de Bukit Merah cuja economia pode demorar décadas para se recuperar.^[1]

Por esses e outros motivos a utilização e o desenvolvimento de novas técnicas se faz necessário. Um dos mais simples, envolve a separação de metais de uma placa de circuito integrado (PCB, na sigla em inglês) através de uma “solução de separação”, em que foi possível recuperar até 99% de Sn, Pb, Fe, Cu, e Zn. Após a dissolução, os metais são seletivamente precipitados e separados por filtração (Figura 1).^[3]

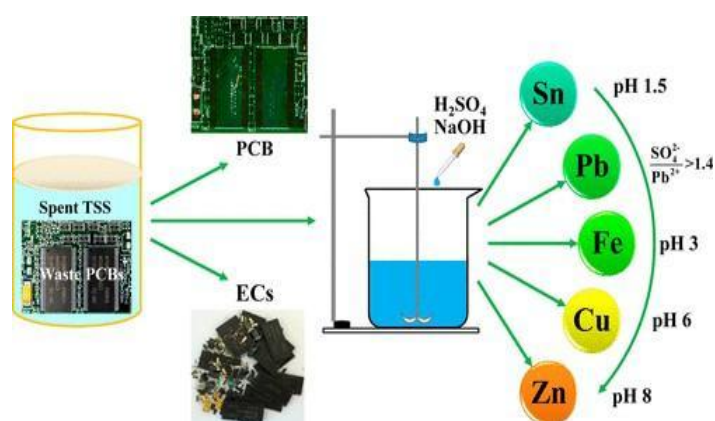


Figura 1 - Resumo do processo de separação de metais em PCB. I) Tratamento com uma solução de estanho em HNO₃ II) Os sólidos são separados do líquido III) Os cátions metálicos são precipitados seletivamente e os respectivos sólidos filtrados. O pH foi variado em cada uma das etapas do processo. Reproduzido com autorização de Congren Yang, Jinhui Li, Quanyin Tan, *et al*, *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2017, 5, 4, 3524–3534. Copyright 2017 American Chemical Society.

Inicialmente, os metais são dissolvidos em uma solução de ácido nítrico (HNO₃) com estanho, resíduo do próprio processo produtivo da PCB, gerando uma solução de cátions metálicos. Adiciona-se então hidróxido de sódio lentamente, para que o pH se eleve gradativamente, até ocorrer a precipitação do Sn(OH)₄. Depois, adiciona-se H₂SO₄ para que o pH seja reduzido ligeiramente até ocorrer a separação de PbSO₄, seguido novamente de adição de NaOH para que o pH se eleve e haja a segregação de Fe(OH)₃. A adição de NaOH é repetida mais duas vezes, para a recuperação dos sólidos Cu₄SO₄(OH)₆(H₂O) e Zn(OH)₂ (Figura 2). O controle do pH é essencial para garantir a máxima precipitação de cada cátion. Apesar de utilizar ácidos fortes, este processo apresenta como vantagem o aproveitamento de um resíduo (HNO₃) que demandaria tratamento e descarte, tornando o processo mais sustentável.

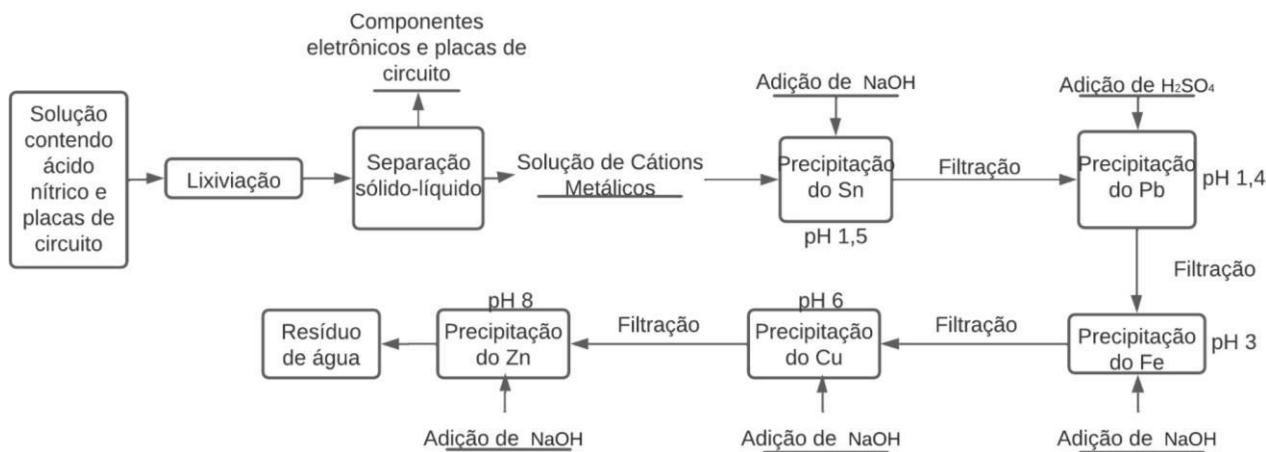


Figura 2 - Fluxograma para o desmonte e recuperação de materiais a partir das PCBs e do resíduo utilizado na fabricação destas.

Outro problema muito grave é o rápido consumo e descarte de celulares. Uma pesquisa mostrou que em nosso país, as pessoas trocam de celular em média a cada 2 anos.^[4] Isso gera toneladas de lixo anualmente, sendo que nesses resíduos há metais muito valiosos que estão sendo desperdiçados, como o níquel e o cobalto presente nas baterias de íon lítio dos dispositivos. A recuperação desses metais, porém, é desafiador, pois a separação deles é difícil devido às suas propriedades físico-químicas semelhantes.^[5,6]

Felizmente um experimento recente publicado em novembro de 2021 na revista científica Nature mostra que é possível a separação desses materiais através dos processos, descritos a seguir (Figuras 3 e 4). A preparação das baterias para separação dos materiais é feita através das seguintes etapas: a) Descarga: as baterias foram imersas em uma solução de 10% (m/v) NaCl por 24h até serem completamente descarregadas. b) Desmonte: as baterias foram desmontadas mecanicamente utilizando uma serra e os ânodos e cátodos foram desagregados para separação. Os restos do cátodo foram cortados em pequenos pedaços de cerca de 1 cm². c) Tratamento com NMP (n-Metilpirrolidona): os pequenos pedaços de cátodo foram tratados com NMP a 100 °C durante 24 h e secos para dissolver o cobalto e níquel nele presentes. d) Os materiais foram então filtrados e secos e se obteve um pó e) a solução final foi obtida após um processo de lixiviação realizado em um Erlenmeyer de 250 mL em temperatura ambiente, utilizando 30 mL de HCl. A solução obtida no final desse processo foi utilizada para o processo de eletrodeposição de níquel e cobalto (Figura 3).



Figura 3: Preparação das baterias para separação dos materiais. I) Descarga. II) Desmonte. III) Tratamento com NMP. IV) Filtração e secagem V) Lixiviação. Reproduzido e modificado com autorização de Kim, K., Raymond, D., Candeago, R. *et al*, *Nat Commun* 12, 6554 (2021). Copyright 2021 Nature Publishing Group

A parte principal e mais desafiadora é a diferenciação destes metais em meio aquoso devido aos cátions $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ e $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ serem difíceis de se discriminar. Na intenção de solucionar esse problema

foi adicionado LiCl ao meio que forma CoCl_2 e o cátion $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ então as cargas opostas poderiam ser mais facilmente separadas.

No próximo passo foram preparados eletrodos de cobre revestidos com um polímero chamado cloreto de poli(dialildimetilamônio), que ajuda na separação do cobalto, através de estabilização eletrostática. Depois de preparados os eletrodos, eles foram utilizados para separar o níquel e o cobalto. Ao final do experimento obteve-se os metais com um grau de pureza de $96.4 \pm 3.1\%$ e $94.1 \pm 2.3\%$ para o cobalto e níquel, respectivamente (Figura 4) [6].

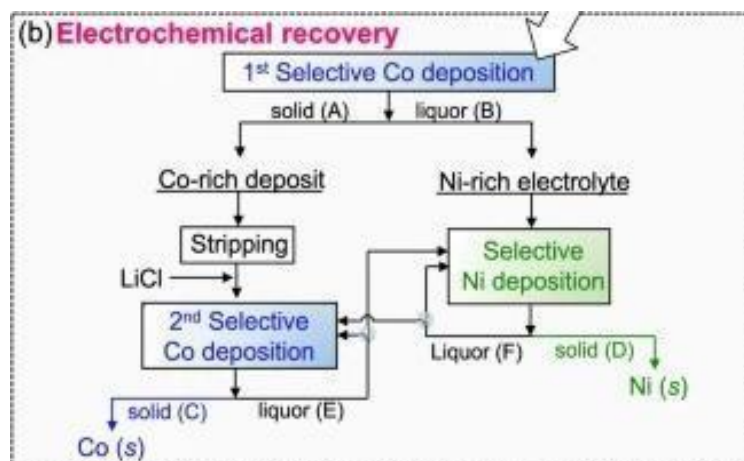


Figura 4: Representação do processo eletroquímico de separação do Cobalto e do Níquel. Reproduzido e modificado com autorização de Kim, K., Raymond, D., Candeago, R. *et al*, *Nat Commun* 12, 6554 (2021).

Copyright 2021 Nature Publishing Group

Embora o processo seja muito eficiente e obtenha os metais com um grande grau de pureza, durante o processo de preparação das baterias é feito um tratamento com NMP, que é tóxico e pode causar danos ao sistema reprodutor masculino de animais testados.^[7] Ainda que os efeitos em humanos não foram completamente observados, é desejável que esse solvente seja substituído por outro com menos riscos associados com o propósito de criar um processo seguro e sustentável. Uma alternativa é a gama-Valerolactona, que funciona de forma semelhante ao NMP, dissolvendo as ligações necessárias para o preparo das baterias.^[8] Este composto é menos tóxico e mais facilmente degradado pelo ambiente.^[9]

Esses métodos de reciclagem podem e devem ser utilizados no Brasil. Nossa nação é uma das maiores produtoras de recursos minerais do mundo sendo a segunda maior exportadora de ferro do planeta^[2]. Entretanto, essa grande fonte de riqueza vem acompanhada de uma série de problemas socioambientais, através de flexibilizações legislativas que favorecem o acesso a novas jazidas em áreas protegidas e reservas indígenas. O reaproveitamento desses recursos seria uma forma de maximizar a cadeia de produção e mitigar os danos causados pela mineração, uma vez que, reduzindo a demanda, a busca por novas minas diminuiria. Resumindo, os grandes problemas socioambientais que envolvem mineração e descarte de aparelhos eletrônicos podem ser minimizados através de processos de recuperação de lixo eletrônico, além de que tais processos também geram ganho econômico. Porém, estes devem ser otimizados e aprimorados para que atinjam máxima eficiência e segurança ambiental, de forma que o estudo químico desses processos é essencial para o sucesso dessas e de outras soluções para construir um mundo mais sustentável e menos agressivo a populações mais vulneráveis.

Referências:

- [1] Recycling. <https://web.mit.edu/12.000/www/m2016/finalwebsite/solutions/recycling.html> Acessado em 28 de fevereiro de 2022.
- [2] Informe DHESC Interativo. http://monitoramentodh.org.br/wp-content/uploads/woocommerce_uploads/2017/08/informe_DHESC_interativo.pdf Acessado em 28 de fevereiro de 2022.
- [3] C. Young, J. Li, Q. Tan, L. Liu, Q. Dong. *ACS Sustainable Chem. Eng* 2017, 5, 4, 3524–3534. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.7b00245#> Acessado em 01 de março de 2022.
- [4] Brasileiro troca de celular a cada 2 anos, aponta pesquisa. <https://ocp.news/economia/brasileiro-troca-de-celular-a-cada-2-anos-aponta-pesquisa> Acessado em 02 de março de 2022.
- [5] Brasil Escola. Cobalto (Co): propriedades, características, usos. <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/cobalto.htm#:~:text=O%20cobalto%20%C3%A9%20um%20metal%20branco%20acinzentado%20com%20propriedades%20magn%C3%A9ticas,pode%20ser%20atacado%20por%20%C3%A1cidos>. Acessado em 02 de março de 2022.
- [6] K. Kim, D. Raymond, R. Candeago, X. Su. *Nat Commun* 12, 6554 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26814-7> Acessado em 01 de março de 2022.
- [7] K. Sitarek, J. Stetkiewicz. *Int J Occup Med Environ Health*. 2008;21(1):73-80. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18468972/> Acessado em 02 de março de 2022.
- [8] V. R. Ravikumar *et al.* *ACS Appl. Energy Mater.* 2021, 4, 1, 696–703 <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsaem.0c02575> Acessado em 02/03/2022.
- [9] X. Shen, DZ. Xia, YX. Xiang, JG. Gao. *e-Polymers*. [https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/epoly-2019-0033/html#:~:text=Among%20these%20agricultural%20biomass%20derived,%2Fkg\)%20\(24\)](https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/epoly-2019-0033/html#:~:text=Among%20these%20agricultural%20biomass%20derived,%2Fkg)%20(24)). Acessado em 02 de março de 2022.