

**Nome do autor:** Ana Luiza Lamberti dos Santos **Série em 2022:** 3° série

### **Consumismo, obsolescência e reciclagem: o papel dos metais na composição de eletrônicos.**

Atualmente, o mundo enfrenta graves problemas relacionados a poluição ambiental e ao descarte inapropriado de lixo. Nessa linha, a poluição ambiental é caracterizada por qualquer ação que cause prejuízo ou danos ao meio ambiente, ou seja, a mesma está em todas as esferas do ecossistema, afetando solo, reservas hídricas e o ar. Ainda nesse âmbito, o homem vem modernizando todas as áreas da vida humana, e as tecnologias passadas que caem em desuso, tornando-se obsoletas, e vão se acumulando. A produção de eletrônicos e os resíduos gerados por esses ainda são relativamente recentes e a reciclagem e o descarte correto do lixo eletrônico ainda são assuntos pouco discutidos.

Em suma, o lixo eletrônico é constituído de placas, telas, baterias, lentes ou carcaças de aparelhos quebrados ou inutilizados [1] desde celulares e computadores até eletrodomésticos, como geladeiras e micro-ondas. Esses resíduos são descartados muitas vezes sem cuidado, e liberam no meio ambiente substâncias extremamente nocivas como o mercúrio e o cádmio, que fazem parte da composição dos circuitos e afetam a saúde humana e contaminam solos e fluxos de água. Com os avanços da tecnologia e a constante troca de equipamentos, que se tornam obsoletos, ocorre um rápido ciclo de produção e descarte desses aparelhos, o que aumenta exponencialmente o acúmulo de lixo eletrônico.

Com essa problemática, a Organização das Nações Unidas, a ONU, fundou o “The Global E-Waste monitor 2020” [2] que é um site que coleta e armazena informações sobre os maiores produtores e a destinação do lixo eletrônico no mundo no ano de 2019. Com os dados encontrados na plataforma é possível desprender que mesmo os países mais sustentáveis não reciclam a grande parte do lixo eletrônico, visto que em 2019, o mundo descartou 53,6 milhões de toneladas em aparelhos e baterias, e apenas 17% foi efetivamente reciclado. De acordo com o mesmo relatório, a Ásia é o principal gerador de lixo eletrônico, responsável por quase 25 mil toneladas [3].

Desse modo, fica claro que a produção de novos aparelhos eletrônicos tende a crescer nos próximos anos, e sabendo que descarte dos usados continuará ocorrendo, a melhor alternativa para evitar o montante exagerado é a reciclagem. O processo de reciclagem do lixo eletrônico é mais complexo do que o do lixo simples, constituído apenas de plástico ou de papel por exemplo, porque os aparelhos possuem muitos materiais amalgamados, desde metais pesados até vidro. O processo, portanto, começa com a separação e triagem dos materiais de acordo com sua composição. Após a separação por categoria, os aparelhos são desmontados e seus componentes são, mais uma vez separados. Assim, o plástico, o vidro, o alumínio e outros são triturados e compactados, e depois aproveitados em diversos setores da indústria e não apenas na produção de novos eletrônicos [5].

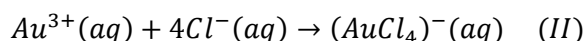
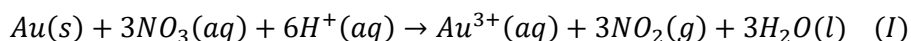
Apesar da reutilização de partes ou de toda a carcaça, o grande problema se concentra na reciclagem das placas de circuito impresso, que possuem grandes quantidades de metais pesados e preciosos, na forma de mistura heterogênea, o que torna sua reciclagem importante economicamente [5], e conseqüentemente mais complicada.

No Brasil, não existe tecnologia para a reciclagem dessas placas, que são apenas processadas e enviadas para países desenvolvidos. A reciclagem desses metais pode ocorrer de diversas formas envolvendo inúmeros processos químicos e físicos, todavia, o primeiro passo ocorre pela separação de componentes que ocorre através do aquecimento das soldas a temperatura de 350°C [6]. Após essa separação, os componentes da placa são moídos, ou seja, reduzidos de tamanho para então serem peneirados em peneiras com gramaturas diferentes, visando separar por tamanho esses grãos metálicos.

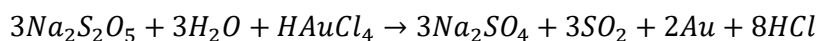


**Figura 1:** Componentes metálicos de uma Placa de circuito impresso [14]

Após isso, alguns processos químicos permitem a separação de metais, principalmente os mais valorizados economicamente, como o ouro (*Au*), a prata (*Ag*) e o cobre (*Cu*). Uma das reações que permitem extrair ouro das placas de circuito impresso é a reação com “Água Régia”, que é a mistura de  $HNO_3$  e  $HCl$ , respectivamente, ácido nítrico e ácido clorídrico na proporção 1:3 [7], essa solução dissolve o ouro e facilita o processo de separação dos outros metais. O Ácido nítrico forma íons  $Au^{3+}$ , que reage com os ânions  $Cl^-$  liberados pelo ácido clorídrico, formando ânions cloroauratos ( $[AuCl_4]^-$ ) [8], de acordo com a seguinte reação [6].



A reação com água régia “dissolve” o ouro e resulta em um líquido amarelado que deve passar por um processo de filtração. Nessa solução filtrada são adicionados a ureia ( $CH_4N_2O$ ) e o metabissulfito de sódio ( $Na_2S_2O_5$ ) que fazem as partículas de ouro decantarem para posterior fundição. [7] A reação com ureia transforma  $AuCl_4$  em  $HAuCl_4$  que reagirá com o metabissulfito de sódio seguindo a equação [15], resultando em ouro puro.

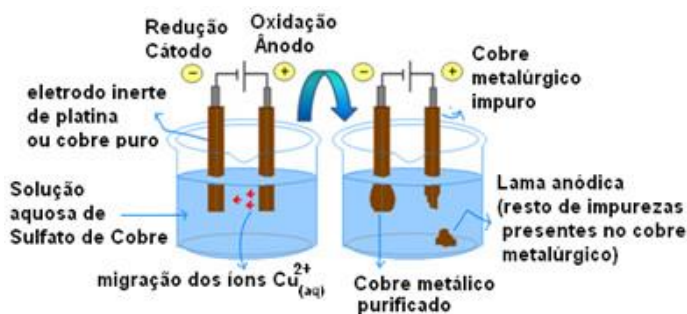


Em um processo experimental encontrado no Youtube [7], de 1756 gramas de placas de circuito impresso, a partir da reação com água régia foi possível obter 1,5 gramas de ouro com alto grau de pureza, resultando em aproximadamente 0,086% da massa total das placas. Esse é um processo hidrometalúrgico que envolve oxido-redução [9] e pode ser utilizado para a obtenção de outros metais como o Cobre [10], além de ser uma solução sustentável e que consome pouca energia.

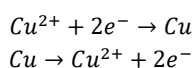
Outra forma de obtenção de metais contidos em placas de circuito impresso é através da eletrólise, por um processo eletrometalúrgico [18], que é capaz de refinar ou purificar metais utilizando a energia [11].

“A eletro refinação é utilizada para dissolver um ânodo metálico impuro (tipicamente a partir de um processo de fusão) e produzir um cátodo de alta pureza” [12]. O processo de eletrodeposição, que ocorre na purificação do cobre a partir de misturas menos puras, acontece quando uma corrente elétrica controlada flui entre as cargas positivas e negativas, e com a adição de um cátodo e um ânodo, os íons metálicos recolhem um dos eletrodos formando um acúmulo de cobre com alto grau de pureza [11].

Nesse processo é aplicada uma diferença de potencial na solução aquosa com o cátodo, o que faz com que o ânodo, cobre impuro, perca elétrons e libere cátions  $Cu^{2+}$ , que se depositam em uma placa de platina ou até mesmo de cobre puro [13]. Essa reação de eletrolise deve resultar em zero pois não ocorre reação, apenas o transporte de cobre livre de impurezas.

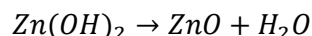


**Figura 2:** Processo ilustrado da eletrólise do cobre e deposição do cobre puro. [13]



O reaproveitamento do cobre é benéfico já que é mais simples do que a extração do metal encontrado na natureza, retirado através da mineração, e contribui para a contínua utilização desse metal pela humanidade. [6]

Além dos processos citados acima, as pilhas e baterias também podem ser recicladas, quando descartadas em local apropriado, por um processo pirometalúrgico industrial. De maneira simplificada, empresas responsáveis coletam e separam as partes plásticas dos compostos químicos. Essas substâncias são trituradas e sua composição é analisada, e então por um processo de aquecimento e decomposição térmica que atinge temperaturas superiores a 1000°C, óxidos metálicos são formados, e podem ser utilizados na produção de cerâmicas, vidros, fogos de artifício, pisos e azulejos funcionando como pigmento ou corante [19]. A reação a seguir é um exemplo da obtenção de óxido de zinco (Zn) por pirólise [20].



Cabe ressaltar que reciclagem de metais é importante por conta do valor comercial dos mesmos, e também evita a degradação ambiental que o descarte incorreto dessas substâncias pode acarretar. O lixo eletrônico é composto por outros metais altamente contaminantes como o mercúrio, o chumbo e o cádmio que além de prejudicar o ecossistema, acabam entrando em conflito com a saúde humana. Quando descartados de forma incorreta, os resíduos eletrônicos acabam em aterros sanitários ou lixões, e os metais contidos podem contaminar o solo, ou por conta da volatilidade, o ar ocorrendo posterior precipitação em forma de chuva, afetando então os fluxos de água. No ar atmosférico mercúrio perde elétrons e passa de  $\text{Hg}^0$  para  $\text{Hg}^{2+}$ , quando o cátion  $\text{Hg}^{2+}$ , atinge a água ocorre deposição, e o metal pode entrar na cadeia alimentar após ser ingerido por peixes e outros animais aquáticos [16], que

podem acabar na alimentação humana. Esse processo, conhecido como ciclo biogeoquímico afeta todo o sistema e pode gerar males a saúde já que o mercúrio é um possível cancerígeno [21], e desnatura proteínas e enzimas, causando danos cerebrais [22]. A reciclagem do mercúrio também é perigosa por conta do risco de contaminação, logo o descarte correto de lixo eletrônico é indispensável.

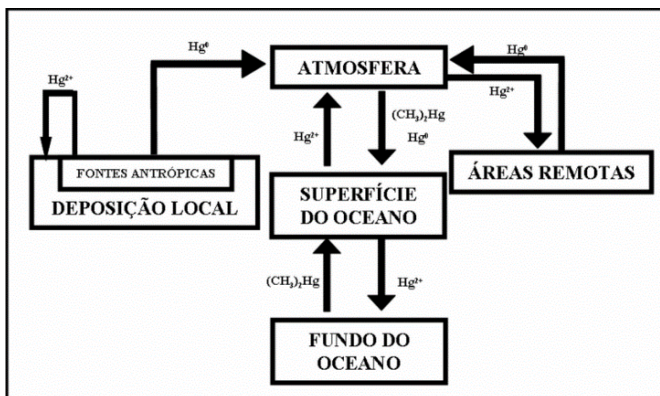


Figura 3: Ciclo biogeoquímico do mercúrio [17]

Este processo, conhecido como ciclo biogeoquímico afeta todo o sistema e pode gerar males a saúde já que o mercúrio é um possível cancerígeno [21], e desnatura proteínas e enzimas, causando danos cerebrais [22]. A reciclagem do mercúrio também é perigosa por conta do risco de contaminação, logo o descarte correto de lixo eletrônico é indispensável.

Desse modo, é visível que existem inúmeros processos químicos capazes de reciclar as substâncias contidas no lixo eletrônico, entretanto, ainda faltam investimentos nesses processos. Nessa linha, também é evidente que a conscientização sobre o consumo exagerado de eletrônicos e o descarte inapropriado desses, até agora é raso no Brasil e no mundo o que dificulta o aproveitamento dos compostos e propaga a degradação ambiental, bem como a contaminação do meio ambiente com metais que podem se dissipar por diversas esferas do planeta, prejudicando a saúde humana e de animais.

Ainda nesse âmbito, as ações antrópicas estão esgotando cada vez mais os limites naturais da terra, o homem foi responsável pela poluição do ar, do solo, dos corpos d'água e dos biomas, assim como pela extinção de diversas espécies vegetais e animais. Indubitavelmente, a quantidade de lixo superará a de produtos em circulação, e não haverá local apropriado para esses resíduos, por consequência, a reciclagem é essencial para a sobrevivência em um planeta que possa comportar os resíduos gerados por mais de 7 bilhões de habitantes.

Diante do exposto, é indiscutível o papel da química no reaproveitamento de resíduos eletrônicos e a sua função na preservação ambiental. A reciclagem além de diminuir o montante de lixo eletrônico

acumulado, previne futuras contaminações e é importante para a indústria que pode produzir novos produtos a partir do que foi retirado dos descartados, visando o mínimo acúmulo de resíduos.

## **Referências bibliográficas**

- [1] <https://portais.ufma.br/PortalUnidade/ufmasustentavel/paginas/noticias/noticia.jsf?id=51568> Acessado em: 18/02/2022
- [2] <https://ewastemonitor.info/gem-2020/> Acessado em: 18/02/2022
- [3] <https://noticias.ambientalmercantil.com/15/11/2020/china-e-estados-unidos-lideram-lista-de-paises-que-mais-geram-lixo-eletronico/#:~:text=geram%20lixo%20eletr%C3%B4nico-Global%20E%2DWaste%20Monitor%202020%20da%20ONU%20relata%20que%20China,que%20mais%20geram%20lixo%20eletr%C3%B4nico&text=%C3%81sia%20liderou%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20lixo,na%20gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20lixo%20eletr%C3%B4nico> Acessado em: 18/02/2022
- [4] <https://greeneletron.org.br/blog/como-e-feita-a-reciclagem-de-aparelhos-eletroeletronicos/> Acessado em: 18/02/2022
- [5] <https://www.infoescola.com/ecologia/reciclagem-de-lixo-eletronico/> Acessado em: 18/02/2022
- [6] TOZZI, Laís Pereira. Reciclagem de Placas de Circuito Impresso para a obtenção de metais não ferrosos. 2017. 45f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017. Acessado em: 18/02/2022
- [7] <https://www.youtube.com/watch?v=XHJDWLIbhcA> Acessado em: 18/02/2022
- [8] [https://www.portalsaofrancisco.com.br/quimica/agua-regia#:~:text=%C3%A1gua%20r%C3%A9gia%20qu%C3%ADmica-%C3%81gua%20r%C3%A9gia%20dissolve%20o%20ouro%2C%20embora%20nem%20%C3%A1cido%20constituente%20ir%C3%A1,de%20ouro%20\(Au%203%202B\).](https://www.portalsaofrancisco.com.br/quimica/agua-regia#:~:text=%C3%A1gua%20r%C3%A9gia%20qu%C3%ADmica-%C3%81gua%20r%C3%A9gia%20dissolve%20o%20ouro%2C%20embora%20nem%20%C3%A1cido%20constituente%20ir%C3%A1,de%20ouro%20(Au%203%202B).) Acessado em: 18/02/2022
- [9] <http://sec.sbg.org.br/cdrom/31ra/resumos/T1523-1.pdf> Acessado em: 18/02/2022
- [10] <https://www.ecycle.com.br/pesquisadores-da-usp-desenvolvem-modo-de-reciclar-placas-de-circuitos-de-maneira-menos-poluente/> Acessado em: 18/02/2022
- [11] <https://www.mecanicaindustrial.com.br/318-eletrometalurgia/> Acessado em: 18/02/2022
- [12] <https://tecnicoeminerao.com.br/eletrometalurgia-na-mineracao/#:~:text=A%20eletrometalurgia%20%C3%A9%20utilizada%20comercialmente,refino%20de%20ouro%20e%20prata>. Acessado em: 18/02/2022
- [13] <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/eletrolise-com-eletrodos-ativos.htm> Acessado em: 18/02/2022
- [14] <https://americaflextec.com/blog/placa-eletronica-circuito-impresso/> Acessado em: 20/02/2022
- [15] [galao-proceedings--cobeq-2016--38617 \(1\).pdf](https://www.galao-proceedings.com/cobeq-2016-38617-1.pdf) Acessado em: 21/02/2022
- [16] <https://www.infoescola.com/meio-ambiente/ciclo-do-mercúrio/> Acessado em: 22/02/2022
- [17] [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Ciclo-biogeoquímico-do-mercúrio-adaptado-de-Morel-et-al-1998\\_fig1\\_28224211](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Ciclo-biogeoquímico-do-mercúrio-adaptado-de-Morel-et-al-1998_fig1_28224211) Acessado em: 22/02/2022
- [18] Ocampo, Edwin José Maria Figueroa Produção de pó de cobre eletrolítico a partir de placas de circuito impresso / Edwin José Maria Figueroa Ocampo. – 2017. Acessado em: 18/02/2022
- [19] <https://www.reciclasampa.com.br/artigo/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-reciclagem-de-pilhas> Acessado em: 22/02/2022
- [20] MOTA, Hellinton Aparecido Fernandes da Mota Reciclagem de Pilha / Hellinton Aparecido Fernandes da Mota. Fundação Educacional do Município de Assis - FEMA -- Assis, 2012. Acessado em: 22/02/2022
- [21] [http://www.cvs.saude.sp.gov.br/prog\\_det.asp?te\\_codigo=19&pr\\_codigo=14#:~:text=Tamb%C3%A9m%20%C3%A9%20considerado%20um%20poss%C3%ADvel,persiste%20muito%20tempo%20no%20ambiente](http://www.cvs.saude.sp.gov.br/prog_det.asp?te_codigo=19&pr_codigo=14#:~:text=Tamb%C3%A9m%20%C3%A9%20considerado%20um%20poss%C3%ADvel,persiste%20muito%20tempo%20no%20ambiente). Acessado em: 02/03/2022
- [22] <https://cmqv.org/metais-pesados-mercúrio-parte-2-toxico-cinetica-dohg/#:~:text=Toxicodin%C3%A2mica%20do%20merc%C3%B4rio%20inorg%C3%A2nico%20Por,rela%C3%A7%C3%A3o%20qu%C3%ADmica%20com%20estes%20grupos>. Acessado em: 02/03/2022