

RECICLAGEM DO LIXO ELETRÔNICO:

Extração química do ouro de processadores eletrônicos descartados

O estudo do meio ambiente é extremamente válido e essencial para ser abordado em pesquisas e para desenvolver projetos que ajudem no seu sustento e na sua preservação. Inquestionavelmente, o descarte inadequado do lixo eletrônico é um exemplo que se soma a inúmeros problemas ambientais que a humanidade enfrenta atualmente, sendo consequência do consumo excessivo e crescente de produtos eletrônicos. A aquisição desses produtos tem sido uma prática muito comum, pois o avanço acelerado da tecnologia¹ fez com que as pessoas buscassem sempre substituir cada vez mais rápido aparelhos por outros novos e mais modernos, gerando uma quantidade gigantesca de lixo eletrônico.

Inicialmente o acúmulo de lixo eletrônico não representava um problema, porém com o crescimento exponencial deste tipo de equipamento o acúmulo tem sido cada vez maior, não havendo espaço físico apropriado para armazenagem e nem condições adequadas para reciclagem de todo o material descartado [1].

Em outras palavras, os consumidores desses aparelhos muitas vezes fazem descarte de forma incorreta, o que pode trazer muitos prejuízos para a natureza. Esse lixo que é descartado pelas pessoas é levado aos aterros e não sofre nenhum tratamento, emanando poluentes que contaminam o meio ambiente. Além disso, esses materiais descartados são constituídos de metais que normalmente possuem chumbo, mercúrio, cádmio, berílio entre outros metais que são prejudiciais ao meio ambiente e também plásticos e vidros na sua produção que demoram muitos anos para se degradar na natureza [2].

Ademais, o lixo eletrônico deve passar pelo processo de reciclagem para que seus danos sejam reduzidos. A reciclagem desse tipo de resíduo ganhou força em 1990 com uma certa resistência, mas com tempo foi se tornando algo comum e com a conscientização desta necessidade se tornou algo fundamental. No início, era mais frequente a realização de reciclagem de pilhas e baterias, nos dias de hoje todo resíduo de aparelhos eletrônicos pode ser reciclado (algumas empresas já reciclam esse lixo) [3] [4].

Sendo assim, dentre os principais processos de reciclagem de eletrônicos pode-se citar: as reciclagens mecânica, química, térmica e biometalúrgica. O processamento mecânico consiste em uma etapa de pré-tratamento utilizado para separar diferentes tipos de materiais presentes no lixo eletrônico (metais, plásticos e cerâmicos) que serão reciclados. Já na reciclagem química é utilizado, principalmente, o processo de hidrometalurgia, onde acontece a extração dos metais através da lixiviação utilizando água régia [5], ácido nítrico (HNO_3), ou ácido sulfúrico (H_2SO_4), onde no fim desse processo são extraídos, principalmente, metais. Enquanto isso, a pirometalurgia utiliza elevadas temperaturas e grande quantidade de energia para gerar metais puros. Finalmente, na biometalurgia são utilizados microrganismos para reciclagem de resíduos e recuperação de metais de bom valor econômico [1].

¹Após a revolução técnico-científico-informacional foi se usando cada vez mais peças eletrônicas que são compostas cada vez mais por metais. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/terceira-revolucao-industrial.htm#:~:text=A%20Terceira%20Revolu%C3%A7%C3%A3o%20Industrial%2C%20tamb%C3%A9m,a%20robotiza%C3%A7%C3%A3o%20do%20sistema%20produtivo>.

➤ Experimentos [9]

O experimento a seguir foi desenvolvido nos laboratórios da ETEC Parque Belém e teve como objetivos o estudo da reatividade de metais presentes no lixo eletrônico frente a soluções lixiviantes para obtenção e reciclagem de ouro de placas de processador de computador.

Inicialmente foi feita a retirada de pinos de ouro (Au) (**Figura 2**) dos processadores de três computadores (**figura 1**). Essa extração foi feita por meio de um soprador térmico, onde ele sopra ar em torno de 400°C. O jato de ar do soprador é diretamente direcionado aos pinos, em que a liga metálica da solda, que é feita principalmente de Chumbo (Pb) e Estanho (Sn) [10], funde-se, sendo uma mistura eutética². Com isso, ocorreu a remoção de todos os pinos de ouro do processador e os mesmos foram guardados para posterior análise.



Figura 1 – Retirada do processador



Figura 2 – Remoção dos pinos revestidos de ouro do processador

Na sequência, foram realizados testes para análise da melhor solução ácida lixivante para obtenção de ouro a partir do lixo eletrônico. Para isso, foram realizados testes em amostras dos principais metais que podem estar presentes em componentes da placa ou nos pinos ligados diretamente à placa: ouro (Au), cobre (Cu), chumbo (Pb), estanho (Sn), ferro (Fe) e zinco (Zn).

Para isso, fez-se a adição de pequenas quantidades desses metais em tubos de ensaio distintos retratados na **figura 3** (tubo 1 – ouro; tubo 2 – cobre; tubo 3 – zinco; tubo 4 – estanho; tubo 5 – ferro) e, posteriormente, a adição de 2 mL de solução concentrada ácido clorídrico (HCl) a 37% em cada tubo com o objetivo de observar se todos os metais reagiriam e se solubilizariam na solução, com exceção do ouro. O resultado desse experimento é apresentado na **figura 4**.



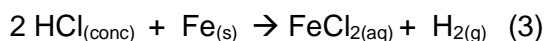
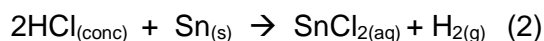
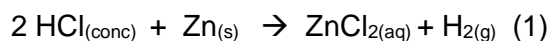
Figura 3 – Metais utilizados no teste de reatividade



Figura 4 – Resultado da adição de ácido clorídrico 37% aos metais

A partir do resultado experimento observa-se que os metais zinco, ferro e estanho reagiram na presença de ácido clorídrico enquanto o cobre e o ouro não reagiram. Isso nos evidencia que esses três metais são mais reativos que o cobre e o ouro, portanto menos nobres. Além disso, observa-se que em todas as reações químicas que ocorreram houve liberação de calor (reações exotérmicas), cloretos dos respectivos metais e liberação de gás hidrogênio como evidenciam as equações químicas 1, 2 e 3 a seguir.

²Misturas eutéticas são misturas formadas por sólidos que se comportam como uma substância pura durante o processo de fusão, ou seja, apresentam temperatura de fusão constante durante a mudança de estado físico [8].



Em um segundo teste, utilizando solução concentrada de ácido nítrico 65% (HNO_3), foi realizado o mesmo procedimento visto anteriormente. A **figura 5** mostra os resultados do experimento e indica que, de todos os metais estudados, apenas o ouro não reagiu com ácido nítrico.

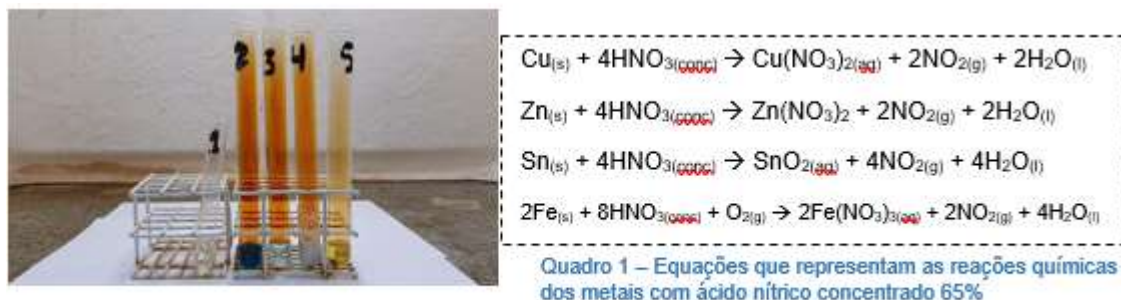


Figura 5 – Resultado da adição de ácido nítrico 65% aos metais

A partir disso, conclui-se que a melhor solução lixiviante para obtenção de ouro a partir do lixo eletrônico é a solução de ácido nítrico 65%, pois esse ácido oxidará todos os metais presentes no meio, como mostram as reações presentes no quadro 1 [7], com exceção do ouro que poderá ser recuperado da solução posteriormente por filtração. Nessas reações, os íons nitrato, em meio fortemente ácido, são reduzidos (variação do número de oxidação de +5 para +4) dando origem a um gás castanho avermelhado que é o dióxido de nitrogênio (óxido ácido), enquanto os metais são oxidados (Cu^{2+} , Zn^{2+} e Fe^{3+}) e formam soluções aquosas de sais de nitratos. A única exceção é o estanho que é oxidado pelo ácido nítrico concentrado e dá origem a uma substância sólida branca conhecida como óxido de estanho IV [7]. Observa-se também, na reação com limalha de ferro, uma baixa reatividade, pois o ácido nítrico concentrado a frio torna o ferro passivo [7]. Todas essas reações citadas ocorrem, pois são espontâneas, ou seja, apresentam variação do potencial padrão (ΔE°) maior que zero e, além disso, observa-se que o ácido nítrico é um agente oxidante mais forte que o ácido clorídrico.

De acordo com os resultados dos experimentos da parte I e sabendo-se a possível composição dos pinos de ouro do processador, foi possível desenvolver o procedimento da segunda parte, cujo objetivo foi obter o ouro a partir dos pinos removidos do processador.

Nessa etapa foi escolhida a solução de ácido nítrico concentrado 65% para oxidação dos metais presentes nos pinos revestidos para retirada do ouro. Para isso, foram misturados 10 mL de solução do ácido e 1,0234 g de pino revestido e foi feito aquecimento do sistema (para aumentar a rapidez da reação) utilizando uma chapa de aquecimento dentro da capela.

Após a mistura, foi possível visualizar a oxidação dos metais presentes no pino com ácido nítrico. A tonalidade azulada do líquido da mistura sinaliza a presença de íons Cu^{2+} [8] e o gás emitido com coloração castanho alaranjado mostra a liberação de NO_2 presente como subproduto da reação, como mostra a **figura 6**.



Figura 6 – Oxidação a quente dos metais presentes nos pinos revestidos de ouro do processador.

Após a reação do ácido nítrico com os metais, sucedeu-se a filtração (**figura 7**) como método mais adequado para a separação do ouro da solução (processo de separação de misturas heterogêneas sólido/líquido no qual o sólido fica retido no papel filtro) .

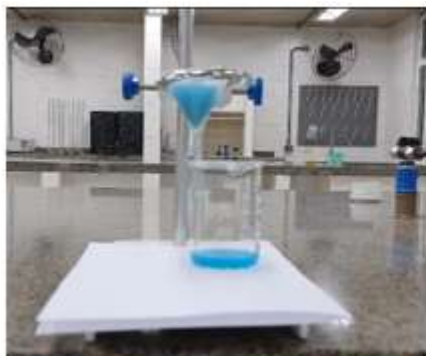
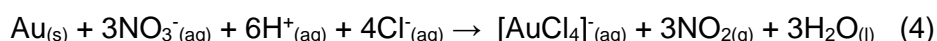


Figura 7 – Processo de filtração para remoção de ouro.



Figura 8 – Oxidação e complexação do ouro pela solução de água régia.

Com o fim do procedimento de reciclagem, para a comprovação de que o material é realmente ouro, foi preparado uma solução de água régia [7] (1 parte de HNO₃ e 3 partes de HCl), já que, essa solução é a única capaz de dissolver o ouro, como mostra a equação química 4 [8]. Após a adição de ambos os ácidos, o resultado está mostrado na **figura 8**.



Pela análise da equação química, conclui-se que o ácido nítrico oxida o ouro (variação do número de oxidação do ouro de 0 para +3 e do átomo de nitrogênio de +5 para +4), portanto atua como agente oxidante da reação, enquanto os íons cloreto complexam os íons Au³⁺ dando origem ao íon tetracloraurato.

Embora a constante de equilíbrio para a formação de Au³⁺ a partir do ouro seja muito desfavorável, a reação ocorre porque os íons Au³⁺ formados são imediatamente capturados pelos íons cloreto e removidos do equilíbrio [8].

Ao término do experimento foi realizado o cálculo de rendimento da reação e obteve o valor de 0,67% ((6,9.10⁻³/1,0234).100).

Através do processo utilizado, conclui-se que mesmo que a quantidade de ouro seja pequena, em larga escala e com ajustes no processo, o rendimento pode ser melhorado e o custo benefício significativo.

Em suma, conclui-se que a sociedade atual tem como o foco o avanço tecnológico e como consequência a troca de equipamentos para os mesmos mais atualizados se torna muito mais recorrente a cada ano. Esses aparelhos, como smartphones, acabam tendo um destino desfavorável, indo para os aterros e não tendo o devido tratamento, gerando inúmeros impactos ao meio ambiente. Reciclá-los nunca foi tão importante para evitar esses prejuízos que a cada dia estão mais evidentes.

➤ Referências

- [1] Site: Disponível em: http://quimicanova.s bq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=3626. Acesso em 02/03/2022 às 16:30.
- [2] Site: Disponível em <<http://periodicos.univag.com.br/index.php/CONNECTIONLINE/article/view/105>>. Acesso em: 25/02/2022 às 20:10.
- [3] Site: Disponível em: <<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=900&layout=abstract&locale=>>>. Acesso em: 25/02/2022. às 18:35
- [4] Site: Disponível em: < <https://ensaioseciencia.pgskroton.com.br/article/view/3193> >. Acesso em: 26/02/2022
- [5] Site: Disponível em: <<https://brasilescola.uol.com.br/quimica/agua-regia.htm>>. Acesso em: 13/03/2022
- [6] Site: Disponível em: < <https://unifasc.edu.br/wp-content/uploads/2021/05/30-LIXO-ELETRONICO-E-MEIO-AMBIENTE.pdf> >. Acesso em: 13/03/2022.
- [7] VOGEL, A. Química Analítica Qualitativa. 5. Ed., São Paulo, Ed. Mestre Jou, 1981.
- [8] ATKINS, P; JONES, L.; LAVERMAN, L. Princípios de Química. 7. Ed., Porto Alegre : Bookman, 2018.
- [9] **Video dos autores da redação**. Disponível em: <https://youtu.be/uStsnTD8swM>
- [10] Site: Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18153/tde-03082016-165434/publico/Ricardo.pdf>. Acesso em: 23/03/2022 às 19:12.