



## Seleção de metais obtidos pela extração ácida em placas de circuitos impressos – revisão de artigo

### Selection of metals obtained by acid extraction on printed circuit boards – review of article

Sofia S. Bernardoni\*, Marcio E. Berezuk<sup>†</sup>

#### RESUMO

Devido ao período da pandemia global de Coronavírus associado à dificuldade de acesso aos laboratórios de Química do Campus Apucarana, este trabalho contemplou apenas uma revisão bibliográfica a respeito das principais técnicas de extração e separação de importantes metais como cobre e estanho que são majoritários em placas de circuitos impressos eletrônicos. Os estudos apresentados mostram que a extração de metais por biohidrometalurgia apresenta-se como uma alternativa eficaz na recuperação de diversos tipos de metais (cobre, zinco, alumínio, níquel) das placas de circuitos eletrônicos, no entanto as condições para maior eficiência de extração ocorrem quando os ensaios ocorram com controle do pH do meio, a possibilidade de crescimento bacteriológico e uma concentração de metais que não envenenem os micro-organismos. Além do pH outros também foram analisados as melhores condições para a realização do experimento. A revisão permitiu verificar a possibilidade da recuperação de metais provenientes de resíduos elétricos e eletrônicos, como por exemplo, zinco, estanho e níquel, a partir do uso de microorganismos como bactérias.

**Palavras-chave:** Circuitos eletrônicos, Metais, Revisão, Biohidrometalurgia.

#### ABSTRACT

Due to the global pandemic period of Coronavirus associated with the difficulty of accessing the chemistry laboratories of Campus Apucarana, this work contemplated only a bibliographical review regarding the main extraction and separation techniques of important metals such as copper and tin, which are the majority in electronic printed circuit boards. The studies presented here contemplate that metal extraction by biohydrometallurgy is an effective alternative in the recovery of several metals (copper, zinc, aluminum, nickel) from electronic circuit boards, however as conditions for greater extraction efficiency occur when the tests are carried out with control of the pH of the medium, a possibility of bacteriological growth and a concentration of metals that do not poison microorganisms. In addition to the pH, the best conditions for carrying out the experiment were also analyzed. The review allowed to verify the possibility of recovering metals from electronic waste, such as zinc, tin and nickel, from the use of microorganisms such as bacteria.

**Keywords:** Electronic circuits, Metals, Review, Biohydrometallurgy.

\* Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, PR, Brasil; [sosobernardon@gmail.com](mailto:sosobernardon@gmail.com)

<sup>†</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana; [berezuk@utfpr.edu.br](mailto:berezuk@utfpr.edu.br)



## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, no Brasil, de acordo com o IBGE, cerca de 90% das residências brasileiras possuem aparelho celular, mais de 40% possui microcomputador e 11% possui tablete, em 2019. Ou seja, a quantidade de eletrônicos que são utilizados todos os dias tem um valor muito alto, uma vez que, conforme a empresa Market Analysis (2013), o aparelho celular dura em torno de dois anos e meio. Além disso, tem-se o fator do consumismo, em que a cada dia que passa, novas tecnologias são descobertas e apresentadas para o mundo. Dessa maneira, a quantidade de lixo eletrônico também é muito alarmante (IBGE EDUCA, 2021).

O lixo eletrônico ou “e-lixo”, possui compostos como metais pesados, os quais são essenciais para a manutenção da vida humana, porém em quantidades controladas. Quando essas quantidades de metais pesados são muito superiores ao permitido causam grandes impactos à saúde não só humana, mas de animais e vegetais (GADD, 2000). Ademais, esse fato se agrava devido ao fato da maneira errônea com que os eletrônicos são descartados no meio ambiente.

Placas eletrônicas para computadores, celulares, televisões, pilhas, baterias, impressoras e entre outros, possuem metais pesados. Quando esses componentes são descartados de maneira incorreta, o lixo é depositado em aterros sanitários, e as substâncias ali presentes podem acabar contaminando o solo e atingindo o lençol freático. No momento em que entram em contato com o lençol freático, esses metais pesados, como, ouro, prata, mercúrio, arsênio, cádmio, chumbo e entre outros, contaminam a água que pode ser fonte para irrigação de plantas, bebida para animais, e conseqüentemente, acaba no alimento do homem (GIESE, 2017).

As redes organometálicas (MOFs) pertencem a uma classe de polímeros de coordenação com desenvolvimento bem recente que une três características, sendo elas: cristalinidade, alta porosidade e existência de forte interação metal-ligante orgânico (RAMOS, TANASE, ROTHENBERG, 2014).

Além disso, essas organizações podem modular a estrutura porosa assim como as propriedades eletrônicas do sítio ativo, quando é escolhido de maneira cuidadosa o ligante orgânico ou modificando essas estruturas com tratamentos pós-síntese, o que acarreta em uma grande utilização industrial nos dias de hoje, destacando as áreas da química fina e na fabricação de produtos químicos (RAMOS, TANASE, ROTHENBERG, 2014).

Dessa maneira, este projeto de iniciação tecnológica e inovação tem por objetivo principal a revisão de bibliografias que possam auxiliar na recuperação de alguns metais presentes em placas de computadores, circuitos eletrônicos, placas-mãe, discos rígidos e microchips que são descartados de maneira errônea no meio ambiente, procurando fazer de forma seletiva e sintetizar novos materiais químicos com grande capacidade tecnológica, os quais sejam aplicáveis na indústria química.

## 2 MÉTODO (OU PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DA PESQUISA)

Devido à grande dificuldade de acessar os laboratórios de pesquisa no Campus Apucarana da UTFPR durante o ano de 2020 causado pela pandemia da COVID-19, não foi possível desenvolver as atividades práticas dos alunos e desenvolver a pesquisa. Neste sentido, este relatório irá apenas mostrar um trabalho de revisão teórica sobre a temática abordada além de apresentar metodologias mais propícias para a melhor separação de metais obtidos de lixos eletrônicos encontrado na literatura.

\* Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, PR, Brasil; [sosobernardi@gmail.com](mailto:sosobernardi@gmail.com)

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana; [berezuk@utfpr.edu.br](mailto:berezuk@utfpr.edu.br)



## 2.1 Separação de metais por biohidrometalurgia

A biohidrometalurgia é o termo usado para descrever os processos biotecnológicos que envolvem as interações entre os micro-organismos e metais, ou entre os micro-organismos e minerais contendo metais (HENNEBEL et al., 2015). Dentre os processos comumente empregados na recuperação de espécies metálicas a partir de diferentes tipos de resíduos, destacam-se os processos de biolixiviação e biorremediação (GU et al., 2018). A biolixiviação é um processo comumente utilizado para a extração e a recuperação de metais a partir de minérios e resíduos (GIESE, 2017; AGUIAR, NOVAES, GUARINO, 2002), enquanto a biorremediação busca a remoção e/ou imobilização de contaminantes perigosos como radionuclídeos e metais pesados depositados em locais contaminados (AGUIAR, NOVAES, GUARINO, 2002).

### 2.1.1 Materiais e organismos estudados

Para propiciar melhor superfície de contato para os micro-organismos, a literatura sugere transformar em pó as placas de circuitos eletrônicos, conforme o trabalho de Brandtl e colaboradores (2001).

Os principais metais obtidos do pó foram Al, Cu, Ni, Pb, Sn e Zn que estavam contidos nas amostras de sucata eletrônica utilizadas pela equipe de Brandtl. Os valores estão descritos na Tabela 1.

**Tabela 1 - Quantidades médias de elementos selecionados em pó obtido na reciclagem de equipamentos eletrônicos. As concentrações foram determinadas por ICP-AES-MS (rastreamento rápido).**

Elemento	Sigla	Conteúdo ( $g \cdot kg^{-1}$ de sucata)
Alumínio	Al	237
Cobre	Cu	80
Chumbo	Pb	20
Níquel	Ni	15
Estanho	Sn	23
Zinco	Zn	26

Fonte: BRANDL et al., (2001).

Técnicas biohidrometalúrgicas permitem a ciclagem de metais por processos semelhantes aos ciclos biogeoquímicos naturais. Usando técnicas biológicas, a eficiência de recuperação pode ser aumentada, enquanto os métodos térmicos ou físico-químicos por si só têm menos sucesso, como mostrado na mineração de cobre e ouro, onde minérios de baixo teor são biologicamente tratados para obter valores de metal, que não são acessíveis por tratamentos convencionais.

Segundo o trabalho de Brandtl (2001), primeiramente os organismos utilizados para esse processo foram os *Thiobacillus thiooxidans* e *Thiobacillus ferrooxidans* (cepa DMS 622 e DMS 2392, respectivamente). O cultivo foi realizado em frascos de erlenmeyer de 250 mL e incubados a 30°C em um agitador rotativo de 150 RPM, o qual também pode ser realizado em frascos de 1 a 5 L arejados e agitados.

Uma cultura mista foi cultivada em um meio contendo (em g/L)  $KH_2PO_4(0,1)$ ;  $MgSO_4 \cdot 7H_2O(0,25)$ ;  $(NH_4)_2SO_4(2,0)$ ; KCl (0,1);  $FeSO_4 \cdot 7H_2O(8,0)$ . Um por cento (p/v) de enxofre elementar foi adicionado e o pH foi ajustado com ácido sulfúrico para a faixa de 2,5 – 2,7.

Para o monitoramento do crescimento foi necessário medir o pH, a contagem de células (câmara de contagem de Neubauer) e o potencial redox. Na fase de lixiviação, diferentes quantidades (25%, 50% ou 100%, respectivamente) dada cultura estoque foram usadas para inoculação.

\* Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, PR, Brasil; [sosobernardi@gmail.com](mailto:sosobernardi@gmail.com)

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana; [berezuk@utfpr.edu.br](mailto:berezuk@utfpr.edu.br)

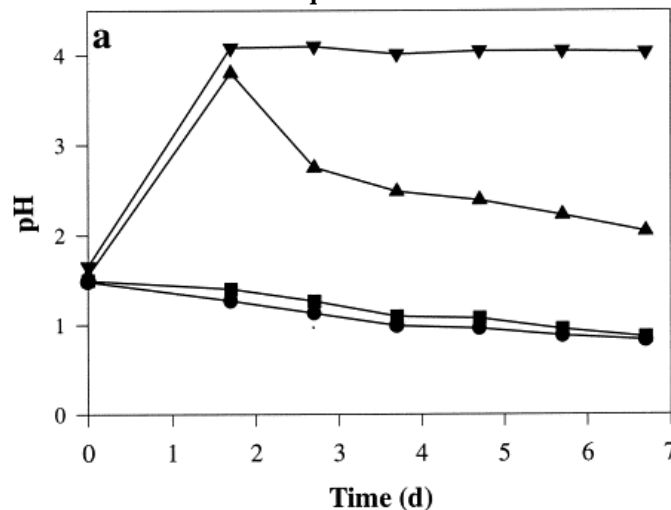


### 3 DISCUSSÕES DAS TECNOLOGIAS DE SOLUBILIZAÇÃO DE METAIS POR BACTÉRIAS

Conforme proposto por Brandtl e colaboradores (2001), em seu estudo foi realizado um controle de pH para o crescimento bacteriano foi medido pela cultura mista de *Thiobacillus ferrooxidans* e *Thiobacillus thiooxidans* em diferentes concentrações de sucata conforme mostra a Figura 1. A alcalinidade das sucatas levou ao aumento do pH inicial e depois os organismos tiveram boas condições de crescimento para concentrações de sucatas abaixo de 10g/L.

Embora a cultura tenha a capacidade de suportar altas concentrações de metais, porém alta quantidade de sucatas eletrônicas causa toxicidade no meio e os mecanismos responsáveis por essa toxicidade não foram estudados pelos autores, logo foram apenas especulados que as altas concentrações de Al estão impossibilitando o crescimento bacteriano.

Figura 1 - (a) Crescimento (determinado como diminuição do pH) de uma cultura mista de *T. ferrooxidans* e *T. thiooxidans* em diferentes quantidades de sucata eletrônica.



Fonte: BRANDL et al., (2001).

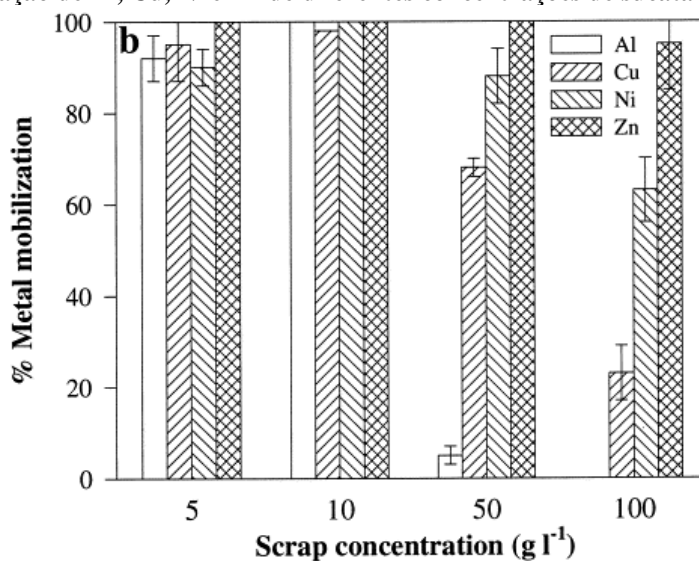
Na Figura 2, os autores mostram que a mobilização ocorre no processo de duas etapas: Uma cultura mista de *T. ferrooxidans* e *T. thiooxidans* foi cultivado anteriormente por 7 dias na ausência de sucata eletrônica. Sucata foi adicionada e a cultura foi cultivada por um período adicional de 10 dias. Barras representam valores médios  $\pm$  erros padrão de experimentos duplicados.

\* Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, PR, Brasil; [sosobernardon@gmail.com](mailto:sosobernardon@gmail.com)

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana; [berezuk@utfpr.edu.br](mailto:berezuk@utfpr.edu.br)



Figura 2 - (b) Mobilização de Al, Cu, Ni e Zn de diferentes concentrações de sucata eletrônica (g /L ) a 30 ° C.



Fonte: BRANDL et al. (2001).

Com objetivo de reduzir a toxicidade sobre os microrganismos, Brandl e colaboradores (2001) propuseram um processo com duas etapas. Na primeira, a biomassa foi produzida na ausência de sucata eletrônica. Na segunda a sucata eletrônica foi acrescentada em diferentes concentrações e as culturas foram incubadas por período de tempo. Eles observaram que 100g/L de sucata, o pH diminuiu de 2,1 para 0,9, indicando crescimento bacteriano.

Para concentrações de refugo (sucata eletrônica) de 5 e 10g/L, eles notaram que a cultura conseguiu lixiviar mais de 90% de Al, Cu, Ni e Zn, conforme mostrado na Figura 2. A mobilização de Al e Cu foi reduzida com o aumento da concentração de sucata no meio, e Ni e Zn estavam mobilizados para 60% e 95%, respectivamente

#### 4 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados por Brandl e colaboradores (2001) indicam que é possível mobilizar metais de e-lixos por meio da utilização de microrganismos como as bactérias. Eles perceberam que bactérias *Thiobacillus ferroxidans* e *Thiobacillus thiooxidans* foram capazes de crescer na presença de sucata eletrônica. Avaliaram diferentes quantidades de metais que podem ser lixiviadas dependendo do organismo usado e das condições de crescimento aplicadas. Para certos elementos, a solubilização completa foi alcançada. No entanto, concluíram que para recuperar os valores do metal de forma mais econômica, um processo de duas etapas deve ser desenvolvido, onde o crescimento microbiano é separado do processo de lixiviação do metal.

Dessa forma, a análise das produções científicas permitiu que inúmeras informações fossem coletadas a fim de possibilitar um futuro estudo da recuperação de metais a partir de resíduos elétricos e eletrônicos a partir do uso de microrganismos como bactérias, ou seja, a partir da biohidrometalurgia.

\* Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, PR, Brasil; [sosobernardi@gmail.com](mailto:sosobernardi@gmail.com)

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana; [berezuk@utfpr.edu.br](mailto:berezuk@utfpr.edu.br)





## AGRADECIMENTOS

Os autores do presente artigo de revisão bibliográfica gostariam de agradecer à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus Apucarana* pela oportunidade de desenvolvimento de um trabalho no quesito de iniciação científica.

## REFERÊNCIAS

- Obsolescência programada: o ciclo de vida dos eletroeletrônicos.** MARKET ANALYSIS, Out. 2013. Disponível em: <<http://marketanalysis.com.br/publicacoes/obsolescencia-programada-o-ciclo-de-vida-dos-eletroeletronicos/>>. Acesso em: 12 de março de 2021.
- Uso de internet, televisão e celular no Brasil.** IBGE EDUCA. Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/criancas/brasil/2697-ie-ibge-educa/jovens/materias-especiais/20787-uso-de-internet-televisao-e-celular-no-brasil.html>>. Acesso em; 20 de março de 2021.
- GADD, Geoffrey Michael. Bioremedial potential of microbial mechanisms of metal mobilization and immobilization. **Current opinion in biotechnology**, v. 11, n. 3, p. 271-279, 2000.
- CRISTINE, Ellen et al. Biolixiviação: uma avaliação das inovações tecnológicas na biomineração de minerais sulfetados no período de 1991 a 2015. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 14, n. 3, p. 192-203, 2018.
- RAMOS, André Luis Dantas; TANASE, Stefania; ROTHENBERG, Gadi. Redes metalorgânicas e suas aplicações em catálise. **Química Nova**, v. 37, p. 123-133, 2014.
- HENNEBEL, Tom et al. Biotechnologies for critical raw material recovery from primary and secondary sources: R&D priorities and future perspectives. **New biotechnology**, v. 32, n. 1, p. 121-127, 2015.
- GU, Tingyue et al. Advances in bioleaching for recovery of metals and bioremediation of fuel ash and sewage sludge. **Bioresource technology**, v. 261, p. 428-440, 2018.
- AGUIAR, Mônica Regina Marques Palermo de; NOVAES, Amanda Cardoso; GUARINO, Alcides Wagner Serpa. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Química Nova**, v. 25, p. 1145-1154, 2002.
- BRANDL, H.; BOSSHARD, R.; WEGMANN, M. Computer-munching microbes: metal leaching from electronic scrap by bacteria and fungi. **Hydrometallurgy**, v. 59, n. 2-3, p. 319-326, 2001.

\* Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, PR, Brasil; [sosobernardoni@gmail.com](mailto:sosobernardoni@gmail.com)

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana; [berezuk@utfpr.edu.br](mailto:berezuk@utfpr.edu.br)