



Síntese de estruturas Metal Organic Frameworks (MOFS) a partir de placas de circuitos eletrônicos

Synthesis of Metal Organic Frameworks (MOFS) structures from electronic circuits boards

Jeferson Rocha Queiroz¹, Marcio Eduardo Berezuk²

RESUMO

As placas de circuitos eletrônicos presentes em equipamentos dos mais variados tipos, são materiais ricos em metais passíveis de serem extraídos. Na presente pesquisa estuda-se a possibilidade da recuperação de metais presentes nas placas utilizando o método da precipitação seletiva, que consiste em precipitar os metais em diferentes faixas de pH e também a avaliação da viabilidade na síntese de materiais com morfologia adequada para servir como matéria prima para indústrias químicas variadas. Essa recuperação é justificada pela necessidade de mitigar a quantidade de lixo eletrônico descartado no meio ambiente e também atribuir ao material extraído uma nova finalidade com alto valor agregado. Os valores de pH encontrados na precipitação de hidróxidos metálicos de cobre, ferro e alumínio não foram compatíveis com os apresentados na literatura, com exceção do zinco. No entanto, a massa de metal extraída foi promissora, principalmente a massa do elemento cobre que corresponde a 87,16% da massa total do precipitado. A pesquisa obteve resultado satisfatório em relação ao precipitado da placa, mas o método de separação precisa ser reavaliado.

PALAVRAS-CHAVE: Metais, meio ambiente, placas, precipitação.

ABSTRACT

The electronic circuit boards present in equipment of the most varied types are materials rich in metals that can be extracted. In this research we study the possibility of recovering metals present in the plates using the selective precipitation method, that's consisting of precipitating metals in different pH ranges and also evaluating the viability in the synthesis of materials with adequate morphology to serve as material. raw material for various chemical industries. This recovery is justified by the need to mitigate the amount of electronic waste discarded in the environment and also give the extracted material a new purpose with high added value. The pH values found in the precipitation of copper, iron and aluminum metal hydroxides were not compatible with those presented in the literature, with the exception of zinc. However, the mass of metal extracted was promising, especially the mass of the copper element. The research obtained satisfactory results in relation to the plaque precipitate, but the separation method needs to be reevaluated.

KEYWORDS: Metals, environment, boards, precipitation.

INTRODUÇÃO

Atualmente, cerca de 90% das residências brasileiras possuem aparelho celular, mais de 40% possuem microcomputador e 11% possuem tablet (IBGE EDUCA. 2021). Estes componentes eletrônicos possuem uma placa integrada em sua estrutura que contém metais nobres em sua composição. Quando o componente eletrônico atinge sua vida útil e

¹ Bolsista da Fundação Araucária. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: jefersonqueiroz@alunos.utfpr.edu.br ID Lattes: 0214620995806404.

² Docente no Programa de Mestrado em Engenharia Química (PPGEQ-AP). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: berezuk@utfpr.edu.br. ID Lattes: 4700434717490143.



METODOLOGIA

PREPARO DA SOLUÇÃO

Inicialmente houve a adição de 100 mL de NaOH 1 M para dissolver película protetora da placa fragmentada para facilitar a extração dos metais no ácido em um béquer de 150 mL. Os pedaços da placa com peso de 36,7 g foram imergidos na solução de hidróxido de sódio e mantida sob aquecimento por 1 hora com uma temperatura de 70 °C. Ao término desse procedimento, filtrou-se o hidróxido de sódio em um béquer de 100 mL. Após o aquecimento e ação do hidróxido de sódio, a massa da placa foi de 20,19 g. A placa foi submetida a adição de 50 mL de ácido nítrico (HNO₃) com uma concentração de 3 M por 24 horas. Após esse período, filtrou-se novamente a solução ácida e o volume observado foi de 31 mL.

LIXIVIAÇÃO ÁCIDA

A solução de ácido nítrico (HNO₃) foi precipitada com hidróxido de amônio (NaOH) com concentração de 1 M. O pH inicial da solução foi de 0,69 e é representado pela amostra 1. À medida que o hidróxido ia sendo adicionado o pH da solução se tornava mais alcalino e os valores observados foram anotados. Ao final de cada precipitação a solução era transferida para tubos Falcon e centrifugada a uma rotação de 3000 rpm por 5 minutos para que fosse possível coletar o material precipitado do fundo de cada tubo e uma alíquota da solução sobrenadante.

As amostras foram enviadas ao Laboratório de Análises Químicas Laborfort, localizado na cidade de Cambira – PR, em eppendorfs com uma alíquota de 1 mL para a realização da análise de espectrometria de absorção atômica utilizada para determinação quantitativa de elementos metálico. A solicitação dos elementos a serem analisados foram Fe, Zn, Al e Cu. Não foi possível ler o Estanho, devido ao fato do laboratório não possuir o padrão de amostra desse elemento.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os volumes de hidróxido adicionado na solução ácida, alteração do pH na solução, o peso do precipitado e concentração encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados da precipitação.

Amostra	Volume de HNO ₃ (mL)	Volume de NaOH (mL)	pH da solução	Peso do precipitado(g)	Concentração (ppm)
1	31	0	0,7	0	102903,27
2	31	25	3,2	0,07	55714,29
3	31	2,1	4,1	0,17	50774,53
4	31	5	3,7	0,40	40412,04
5	31	10	4,1	0,58	26949,38
6	31	18	5,2	1,37	6586,17
7	31	3	8,7	0,51	956,43



8	31	1	11,2	0,07	210,31422
9	31	5	12,1	0,02	2,29E-12
Total		69,1	-	3,19	31868,13

Fonte: Autoria própria (2023).

Na Tabela 2 estão dispostos os resultados da análise de espectrometria de absorção atômica que expressa a quantidade de metais existentes na concentração em cada amostra analisada.

Tabela 2 – Porcentagem (%) de cada elemento nas alíquotas analisadas

Amostra	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)	Al (%)
1	0,22	11,25	0,05	0,002
2	0,03	7,74	0,04	<LQ
3	0,01	7,11	0,04	0,002
4	0,01	6,12	0,04	0,002
5	0,01	3,07	0,03	0,001
6	0,01	1,9	0,02	0,002
7	0,01	0,03	<LQ	0,002
8	0,01	0,01	<LQ	<LQ
9	0,01	0,01	<LQ	0,003

Fonte: Autoria própria (2023).

< LQ: Abaixo do limite de quantificação

Tabela 3 – Concentração dos metais presentes em solução

Amostra	pH	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Al (ppm)
1	0,69	226,39	11576,61	51,46	2,06
2	3,18	16,71	4312,29	22,29	<LQ
3	4,10	5,08	3610,07	20,31	1,02
4	3,71	4,04	2873,30	16,17	0,81
5	4,05	2,67	1916,10	10,78	0,54
6	5,20	0,66	468,28	2,63	0,13
7	8,70	0,01	68,00	<LQ	0,02
8	11,17	0,02	14,96	<LQ	- <LQ
9	12,10	0,00	0,00	<LQ	- 0,00

Fonte: Autoria própria (2023).

Pode-se perceber com os resultados apresentados nas Tabelas 2 e 3 que não houve um maior avanço na precipitação seletiva dos metais e tal comportamento não era esperado seguindo o diagrama de precipitação dos hidróxidos metálicos fornecidos pela literatura. Segundo o diagrama de precipitações de (MONHEMIUS, 1977), existem faixas de pH em que se predomina uma ordem específica de metais a serem precipitados e nota-se que o cobre é coletado em uma ampla faixa de pH, desde o mais ácido até pH básico. Pelo diagrama esperava-se que o cobre esteja em solução como íon Cu^{2+} , precipitando a hidróxido de cobre na faixa de 4,5 a 6,5 de pH.

O ferro seguiu comportamento análogo ao cobre não evidenciando mudanças no processo de separação por precipitação. Todavia, no caso do ferro, o diagrama de



precipitação de hidróxidos indica uma faixa mais ácida ao qual íons de Fe^{3+} estariam aptos a precipitação em hidróxido de ferro.

A respeito do zinco, segundo o diagrama de precipitações, esperava-se que fosse obtido zinco no formato de hidróxido a partir de pH 6 e realmente houve um incremento mássico na amostra 6 e 7 da Tabela 4, corroborando com o diagrama. Neste caso, aumentou-se a concentração de hidróxido de zinco nestes precipitados. No entanto, a quantidade mássica total destas amostras foram pequenas.

Por fim, o alumínio apresentou-se em uma concentração bem pequena referente aos demais metais nas soluções. O seu comportamento nas precipitações indica sua maior presença em pH maiores e o hidróxido de alumínio foi recolhido em maior concentração a partir da amostra 6 da Tabela 4. No mesmo caso que o ferro, o alumínio deveria ter sido precipitado em uma faixa de pH mais baixa do que o observado.

Tabela 4 – Massa (mg) dos metais presentes nos materiais precipitados.

Amostra	Massa Total	Fe	Cu	Zn	Al
1	70	0,27	69,35	0,36	0,02
2	170	0,88	168,86	0,22	0,04
3	400	2,59	396,63	0,65	0,13
4	580	5,59	572,36	1,86	0,19
5	1370	14,18	1347,31	7,09	1,42
6	510	<LQ	182,12	273,23	54,65
7	70	<LQ	35,00	35,00	<LQ
8	2	<LQ	8,70	8,50	2,61

Fonte: Autoria própria (2023).

Observando a massa da placa, 20,19 g, e o total de material precipitado, 3,19 g verifica-se que existe uma quantidade de metais recuperáveis na ordem de 15,8% o que é bastante para as placas de circuitos eletrônicos. Tal fato mostra-se pertinente recuperar metais a partir do e-lixo.

A Tabela 5 apresenta a porcentagem mássica de cada elemento recuperado da placa.

Tabela 5 – Quantidade dos metais precipitados em relação a massa da placa

Metais	Massa recuperada (g)	Porcentagem (%)
Cu	2,7803	87,16
Fe	0,3270	10,25
Zn	0,0236	0,74
Al	0,0591	1,85

Fonte: Autoria própria (2023).

Devido ao fato que não houve uma separação satisfatória dos metais analisados, não foi possível seguir adiante na síntese de MOFs. Os próximos passos do projeto visa conseguir uma nova metodologia que possa fornecer uma separação metálica mais específica a fim de poder satisfazer aos objetivos principais deste projeto.



CONCLUSÕES

Dos metais analisados, o cobre é o metal mais abundante na precipitação, seguido do ferro, alumínio e zinco. Infelizmente não foi possível analisar o estanho que seria um quinto metal esperado nas soluções.

Os metais de cobre, ferro e alumínio não seguiu o comportamento apresentado pelo diagrama de precipitação de hidróxidos metálicos dados em literatura. Apenas o Zinco demonstrou ter este comportamento. Desta forma, não foi possível separar adequadamente o elemento Cobre dos outros metais pelo fato que este metal acabou precipitando em faixas amplas de pH e tal comportamento não permitiu uma separação seletiva.

No entanto a lixiviação ácida recuperou 15,8% de metais em referência à massa da placa original, o que se apresenta devidamente necessária seguir os estudos para recuperar metais que seriam descartados de forma inadequada no meio ambiente. Estes metais apresentam-se em boa quantidade para recuperação e possuem alto valor comercial.

Alguns fatores como a condição térmica que a precipitação foi realizada, erros de calibração do pHmetro e homogeneização insuficiente das amostras podem ter participação na baixa seletividade de separação dos metais. Ainda, a alta concentração de cobre presente na solução pode ter desfavorecido a separação por precipitação, por impedir que os outros metais formassem hidróxidos ou arrastá-los consigo ao precipitado.

Agradecimentos

Agradecimentos à UTFPR – Campus Apucarana. à Fundação Araucária pela bolsa PIBITI e também à Laborfort Análises Químicas LTDA pela leitura das amostras no espectrofotômetro de absorção e emissão atômica.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

IBGE EDUCA. **Uso de internet, televisão e celular no Brasil**. Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/criancas/brasil/2697-ie-ibge-educa/jovens/materiasespeciais/20787-uso-de-internet-televisao-e-celular-no-brasil.html>>; Acesso em: 09 de set. de 2023.

LEWIS. A. E. **Review of metal sulphide precipitation**. 2010. Hydrometallurgy 104: 222-234. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.hydromet.2010.06.010>>. Acesso em: 09 de set. de 2023.

MONHEMIUS. A. J. **Transações das instituições de mineração e metalurgia**. seção C: processamento mineral e metalurgia extrativa. v. 86. 1977. p. c202-c206.