

III-167 - CONTRIBUIÇÃO À RECICLAGEM QUÍMICA DE SUCATA ELETRÔNICA INCENTIVADA POR MICRO-ONDAS

Adriano Di Iorio Cestari

Engenheiro Químico, mestrando do CEUN-IMT.

Luiz Alberto Jermolovicius

Dr. em Engenharia Química, Professor do CEUN-IMT

Eduardo Victor dos Santos Pousada

Dr. em Eng. Eletrônica, Professor do CEUN-IMT

Gabriel Quelli Trevisan Prysiezny

Bolsista de IC do CNPq, aluno de graduação em Eng. Química do CEUN-IMT

Dimitri Zinizopouloa Passeti

Aluno de graduação em Eng. Elétrica do CEUN-IMT

Endereço: Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, Pça. Mauá, 1, São Caetano do Sul, SP, 09580-900, Brasil, 11 4239 3949, jermolovicius@maua.br

RESUMO

São apresentados os resultados iniciais do desenvolvimento de um calcinador com micro-ondas para a pirólise de sucata eletrônica, dentro do contexto de reciclagem química dos metais presentes no material eletrônico descartado. A vantagem que norteia o presente projeto é a redução de emissão de gases estufa pela substituição de combustível fóssil por micro-ondas na geração das temperaturas de pirólise. Outra vantagem visada é a redução do tempo de calcinação.

PALAVRAS-CHAVE: Sucata eletrônica, pirólise de sucata, micro-ondas, reciclagem química.

INTRODUÇÃO

Todos os anos a quantidade de produtos eletroeletrônicos vendidos cresce, estimulado pelo avanço tecnológico, incentivado pelo crédito e por mudanças de hábitos. Esta linha de produtos tem uma rápida obsolescência, fazendo necessário a troca ou o seu descarte, gerando, consequentemente, grandes quantidades de lixo eletroeletrônico.[1] Atualmente a geração deste resíduo está em torno de 20 a 50 milhões de toneladas por ano no mundo e cresce no mínimo 300% mais rápido que outros tipos de lixo, segundo estimativa feita pelo programa ambiental da Organização das Nações Unidas (ONU).

Em 2 de Agosto de 2010 foi aprovada a Política Nacional de Resíduos Sólidos, nela são estabelecidas diretrizes, onde se destaca a logística reversa e a responsabilidade compartilhada sobre os resíduos, do fabricante ao consumidor. Este fato aumenta a importância de se encontrar um meio economicamente viável e ambientalmente amigável, para a reciclagem de resíduos eletroeletrônicos.[1]

Visando colaborar para que a reciclagem de sucata eletrônica seja mais efetiva, apresenta-se o desenvolvimento um forno de calcinação, em escala laboratorial, aquecido por irradiação com micro-ondas de 2,45GHz para a pirólise de placas de circuito impresso de aparelhos celulares fora de uso. Essa pirólise é o início do processo de reciclagem química desta sucata e tem a finalidade de remover toda a matéria orgânica, restando apenas à fração metálica e cerâmica, para posterior recuperação dos metais.

No resíduo inorgânico da pirólise encontram-se metais de base e preciosos. Cerca de 17% em peso da sucata eletrônica são materiais orgânicos e 83% são metais e cerâmicas, destacando-se o cobre, níquel, ouro, prata e platina.[2-5] Na pirólise são gerados compostos combustíveis, tanto na forma de óleo, como de gás, que apresentam potencial energético para geração de parte da energia necessária na pirólise. Cerca de 15,2 % em peso das placas são transformados em óleo, e 2,25 % em gás, sendo o restante cinzas, cerâmica e metais. [5] Após a pirólise, que leva em média 135 minutos no processo convencional, os metais são liberados quimicamente por lixiviação do resíduo de pirólise, assim possibilitando a recuperação dos mesmos por processos hidro metalúrgicos. Na tabela 1 são apresentados os principais metais e suas concentrações nas

placas de circuito impresso, encontrados por diversos autores [6-12] e diferentes fontes de placas de circuito impresso. É possível também a comparação da concentração dos diferentes metais em diferentes fontes de sucata eletrônica [3].

Tabela 1: Concentração de metais em placas de circuito impresso, por diversas publicações, adaptadas. [3,5]

Metais	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[3] mg/g		
	%	%	%	%	%	%	%	Placas mãe	Televisores	Celulares
Cu	20	26,8	10	15,6	22	17,85	23,47	410,091	445,594	656,391
Al	2	4,7	7			4,78	1,33	32,097	9,641	33,282
Pb	2		1,2	1,35	1,55	4019	0,99	149,708	168,477	3,9
Zn	1	1,5	1,6	0,16		4,19	1,51	713,139	24,844	961,011
Ni	2	0,47	0,85	0,28	0,32	2,17	2,35	11,991	26,251	20,324
Fe	8	5,3		1,4	3,6	1,63	1,22	81,084	191,132	20,455
Sn	4	10		3,24	2,6	2	1,54			
Sb	0,4	0,06				5,28		<12,6	<17,6	52
Au	0,1	0,008	0,028	0,042	0,035	0,035	0,057	217	<5,6	46
Pt						0,00046	0,003			
Ag	0,2	0,33	0,011	0,124		0,13	0,33	806,458	16,184	12,243
Pd	0,005			0,001		0,025	0,029	<5,6	<5,6	<5,6
Cd								<13,6	<18,6	<5,6
Hg								13	<11,6	19

A queima da sucata eletrônica é um processo moroso e gera fumos de combustão, onde predomina o gás carbônico originado pela queima de combustível para atingir a temperatura de pirólise da sucata. Visando tornar esta operação ecologicamente mais amigável, empreendeu-se a um estudo exploratório para aquilatar a possibilidade do uso de micro-ondas como fonte de calor para esta reciclagem de sucata eletrônica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi desenvolvido um reator em escala piloto, que consiste em um tubo de carbetto de silício, transpassando um guia de micro-ondas, tendo em uma das extremidades do guia um sistema gerador de micro-ondas de 2,45 GHz e na outra um curto móvel. A figura 1 apresenta uma vista geral deste equipamento, onde ao centro observa-se a boca flangeada do tubo de pirólise, à direita o sistema de geração de micro-ondas constituído por um gerador de micro-ondas com potência regulável até 2 kW de micro-ondas, um circulador para evitar que potência refletida retorne ao gerador danificando-o, um acoplador direcional para permitir a introdução de sensores de medida de potência de micro-ondas visando a monitoração da energia colocada em jogo na pirólise. Na extremidade da esquerda, localiza-se o curto móvel que é o elemento responsável pela concentração de irradiação sobre o tubo de pirólise. Por motivo de segurança, o equipamento foi operado sob uma coifa de exaustão de gases. Não se representou nesta figura o sistema de insuflação de ar, composto por uma ventoinha, nem o sistema de coleta de resíduo de pirólise. A vazão de ar foi de 50 L/min com temperatura média e alimentação de 23°C.



Figura 1 Equipamento de pirólise incentivada micro-ondas.

O tubo de pirólise utilizado foi de cerâmica com carbetto de silício e tinha 25,4 mm de diâmetro interno, comprimento de 100 mm e espessura de 3 mm. O carbetto de silício absorve a energia das micro-ondas se aquecendo, permitindo atingir temperaturas da ordem 1000°C. Este tubo foi montado dentro de um tubo de alumínio, soldado no guia de micro-ondas, o qual tinha por função suportar mecanicamente o tubo de carbetto de silício e evitar a fuga de micro-ondas pela abertura de entrada do tubo no guia de micro-ondas.

A monitoração da potência de micro-ondas foi realizada com dois sensores de potência e um medidor de potência de micro-ondas Agilent. Mediu-se, simultaneamente, a potência irradiada de micro-ondas e a refletida pelo sistema. A potência irradiada é a fornecida pelo gerador ao tubo de pirólise, a potência refletida é a potência que não foi absorvida pelo tubo de pirólise e que retorna rumo ao gerador. A diferença entre ambas é a potência efetiva utilizada no processo de pirólise.

A sucata utilizada nos testes foi constituída por telefones celulares. Foram utilizados diversos aparelhos de diversas marcas e idades, sem as baterias. Eles foram desmontados e a massa resultante classificada em material plástico, placas de circuito e componentes. Suas placas foram cominuidas em uma guilhotina, ficando com dimensões de aproximadamente 10 mm x 30 mm, possibilitando, assim, serem alimentados ao tubo de pirólise.

Cada amostra de sucata cominuída foi pesada antes e depois do processo de pirólise incentivado por micro-ondas. Para cada ensaio realizado, foi tomada uma alíquota do resíduo de pirólise para teste de perda ao fogo, e levada a uma mufla por 1 hora à 1000°C, para comprovar a total eliminação de material orgânico.

RESULTADOS

Foram realizados testes com diferentes tempos de permanência, dentro do tubo de pirólise, com o objetivo de se determinar o menor tempo para o processo de pirólise total da matéria orgânica contida nas placas de circuito impresso. Os resultados são mostrados na figura 2.

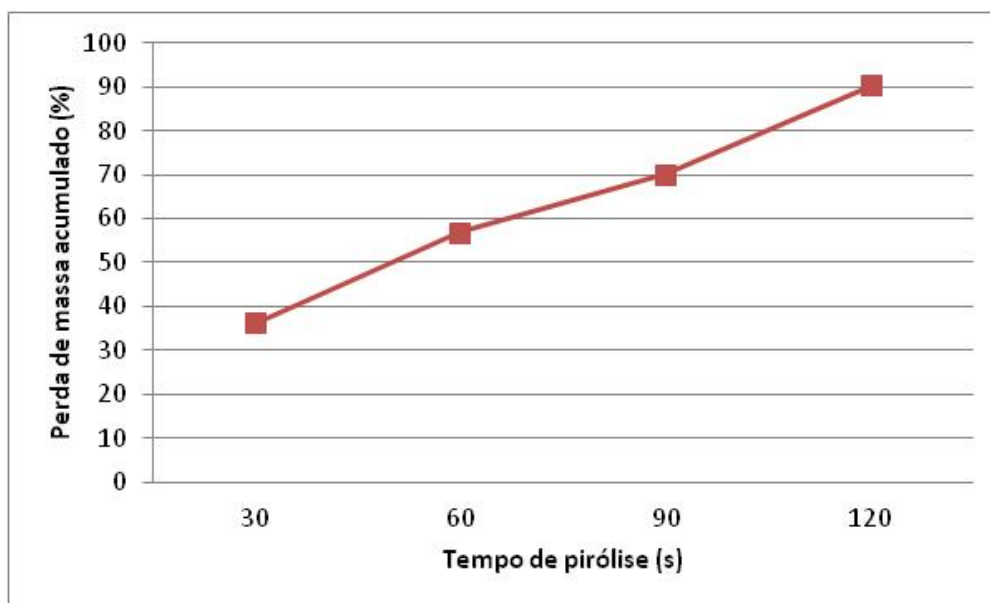


Figura 2 Perda de massa acumulada em função do tempo de permanência no tubo de pirólise.

Os testes de perda ao fogo indicaram que toda a matéria orgânica sofreu pirólise. Nos três ensaios de perda ao fogo o resultado foi um aumento de massa em média de 3%, devido a processo de oxidação dos metais presentes na amostra.

A temperatura de saída do ar foi de 350°C independente de ter carga ou não dentro do reator. Figura 3 apresenta uma vista do equipamento em operação, ressaltando o interior da câmara de pirólise.

A temperatura de regime da pirólise foi em torno de 1000°C, com aplicação de 700W de potência efetiva. Na figura 4 é apresentada uma foto do aspecto do material metálico residual após o processo de pirólise.

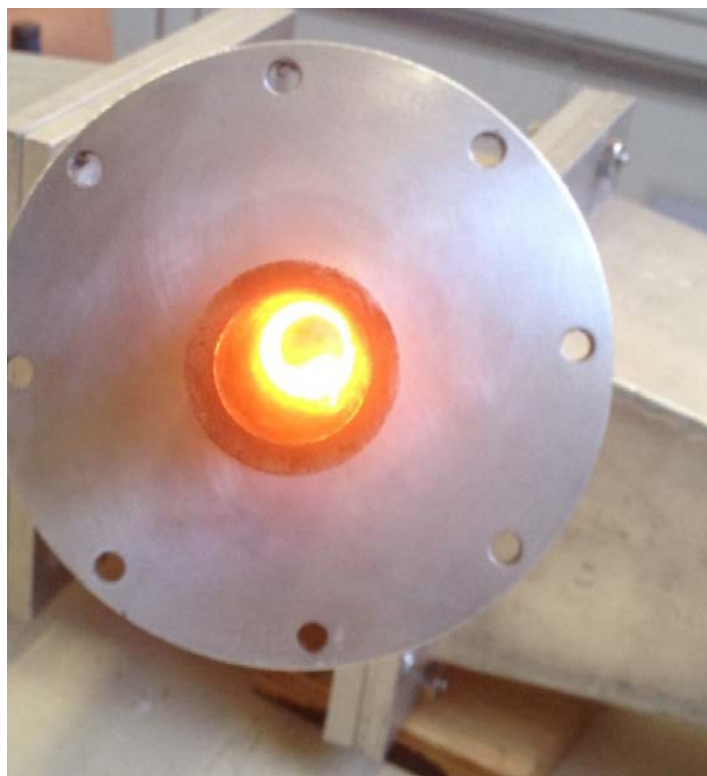


Figura 3: Vista do interior do tubo de pirólise irradiado por micro-ondas.



Figura 4: Placas de circuito impresso após pirólise.

CONCLUSÕES

É possível concluir que o processo de pirólise em placas de circuito impresso por aquecimento com micro-ondas de 2,45 GHz, em tubo de carbetto de silício, é tecnicamente viável.

No processo desenvolvido a perda de massa, isto é a eliminação de matéria orgânica com relação somente às placas de circuito impresso, foi coerente ao encontrado na literatura, de aproximadamente 83 %, resultando em cerca de 17 % como matéria inorgânica como metais e cerâmicas.

Foi confirmado que após a pirólise, não resta mais matéria orgânica. Nos testes de perda ao fogo, observou-se um aumento da massa devido a formação de óxidos metálicos por oxidação dos metais presentes no resíduo de pirólise. Este fenômeno alerta para a necessidade de um tempo de pirólise o menos possível para se evitar a oxidação do metal em processamento.

O processo incentivado por micro-ondas foi capaz e remover a matéria orgânica da sucata eletrônica em um tempo muito menor (2 minutos) que o necessário na pirólise convencional (135 minutos).

Os resultados iniciais são animadores e ensejam a continuação deste projeto visando realizar estudos para aumento de escala e análise de viabilidade econômica. Para tanto, planeja-se a construção de um reator de bancada que permita operar em escala de quilogramas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RIBEIRO, PEDRO PAULO MEDEIROS, Concentração de metais contidos em placas de circuito impresso de computadores descartados. Rio de Janeiro 2013. Projeto de graduação. Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
2. SANTANILLA, ALINE, Recuperação de níquel a partir do licor de lixiviação de placas de circuito impresso de celulares. São Paulo, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Coordenadoria de Pós-Graduação, Escola politécnica da universidade de São Paulo.
3. WILLIAM J. HALL, PAUL T.WILLIAMS, Separation and recovery of materials from scrap printed circuit boards. Europe, 2006. Energy & Resources Institute, The University of Leeds LS29JT.
4. N.MENAD, BO. BJORKMAN, ERIC G. ALLAIN, Combustion of plastics contained in electric and eletronic scrap, Resources, Conservation and Recycling. v. 24, p. 65-85, 1998.
5. OGUNNIVI,O.,VERMASK,M.K.G. e GROOT, D.R. Chemical composition and liberation, characterization of printed circuit board comminution fines for beneficiations. Waste Management.v.29, p. 2140-2146,2009.

6. ZHOU, Y. AND QIU, K. A new technology for recycling materials from waste printed circuit boards. Journal of Hazardous Materials. 175, 2010, pp. 823-828.
7. SHUEY, S. A., VIDAL, E. E. AND TAYLOR, P. R. Pyrometallurgical Processing of Electronic Waste. SME Annual Meeting. Março, 2006, pp. 27-29.
8. ZHAO, Y. Recovery of Copper from printed circuit boards. Minerals and Metal Processing. 2004, Vol. 2, 21, pp. 99-102.
9. ZHANG, S. AND FROSSBERG, E. Mechanical separation-oriented characterization of electronic scrap. Resource, Conservation and Recycling. 1997, Vol. 21, pp. 247-269.
10. KIM, B. A process for extracting precious metals from spent printed circuit boards and automobile catalysts. JOM. 2004, Vol. 56, 12, pp. 55-58.
11. IJI, M. AND YOKOYAMA, S. Recycling of printed wiring boards with mounted electronic components. Circuit World. 1997, Vol. 23, 3, pp. 10-15.
12. KOGAN, V. Process for the recovery of precious metals scrap by means of hydrometallurgical technique. 6006/013568 A3 WO, 2006.