

VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS: RECUPERAÇÃO DE METAIS DE PLACAS DE CIRCUITOS ELETRÔNICOS

ALMIR FELIPE MUNIZ¹, HILTON WILLIAM DA SILVA², FLÁVIO
GRAMOLELLI JUNIOR E RUI SIMAS⁴

- 1- Centro Universitário Padre Anchieta fe_amuniz@hotmail.com
- 2- Centro Universitário Padre Anchieta hiltonhws@hotmail.com
- 3- Centro Universitário Padre Anchieta flaviog@anchieta.br
- 4- Universidade Federal do Paraná r.simas@onda.com.br

RESUMO

O avanço tecnológico faz com que os equipamentos eletrônicos sejam substituídos rapidamente, aumentando significativamente a geração das sucatas eletrônicas. Sabe-se que essas sucatas possuem metais pesados em sua composição, causando assim diversos impactos ambientais. Este trabalho tem como objetivo a valoração ambiental e econômica da sucata eletrônica, identificando e quantificando os metais. A sucata passou por um processo de triagem, no qual os componentes de interesse foram separados. A metodologia empregada na caracterização dos metais constituintes da sucata foi a espectroscopia de emissão óptica por plasma induzido (ICP-OES). Por meio das análises quantitativas, foi possível a identificação de 27 metais constituintes, alguns metais pesados como Cr, Pb, Cd e Ba, e outros com grande potencial de valorização econômica, como Au, Ag, Cu, Sn e In. O potencial mássico de metais a serem recuperados é de 62,4%, e a composição mássica varia de acordo com o componente eletrônico escolhido. A comparação feita entre os componentes Placa A e a Memória sugerem ganhos econômicos anuais de até R\$ 10.206.673,52 e R\$ 1.320.002,64 respectivamente, considerando o preço das commodities na data pesquisada. O presente trabalho mostra que as sucatas eletrônicas possuem um grande potencial de valoração ambiental, seja como fator de minimização da toxicidade e de impactos ambientais, decorrentes da sua disposição final, ou como importante fonte fornecedora de metais em diversas atividades industriais. As sucatas eletrônicas, se tratadas com tecnologia correta, podem ainda ter um potencial econômico expressivo.

Palavras Chaves: Sucata eletrônica, Valorização ambiental, Metal pesado.

ABSTRACT

Technological progress makes the electronic equipment to be replaced quickly, significantly increasing the generation of electronic scraps. It is known that these scraps have heavy metals in their composition, thus causing various environmental impacts. This paper aims to environmental and economic valuation of electronic scrap, identifying and quantifying metals. The scrap has undergone a screening process in which the components of interest were separated. The methodology used in the characterization of the constituent metal scrap was the optical emission spectroscopy by inductively coupled plasma (ICP-OES). Through the quantitative analysis was possible to identify 27 constituent metals, some heavy metals such as Cr, Pb, Cd and Ba, and others with potential economic value as Au, Ag, Cu, Sn and In. The mass potential of metal to be recovered is 62.4% by weight and composition varies according to the chosen electronic component. The comparison made between the components Mother Board A and Memory Card suggest annual revenues up to R \$ 10,206,673.52 and R \$ 1,320,002.64 respectively, considering the price of commodities on the date searched. This study shows that electronic scraps have great potential for

environmental valuation both in minimizing the toxicity and environmental impacts of its final disposition, as an important source supplier metals in sort of industrial activities. If the E-waste is treated with the right technology, they might have a massive economic potential.

Keywords: Electronic scrap, environmental valuation, Heavy Metal.

1- INTRODUÇÃO

Com o crescente avanço tecnológico, os equipamentos eletrônicos são frequentemente substituídos, em decorrência da inovação ofertada, fazendo com que essa substituição ocorra em um período cada vez mais curto. Conseqüentemente, há um aumento significativo na geração das sucatas eletrônicas.

No Brasil, uma grande quantidade das sucatas eletrônicas ainda tem como destinação final os lixões ou aterros sanitários controlados. Sabe-se que esses materiais possuem, em sua composição, metais pesados, que podem contaminar o solo, as águas superficiais e as águas subterrâneas.

Legislações ambientais são editadas de forma crescente, envolvendo os diferentes aspectos do ciclo de vida do produto e aplicadas de forma a responsabilizar as empresas produtoras desses mesmos produtos, após decretado o fim de sua vida útil. Essas legislações impõem o uso de selos verdes para identificar produtos que estão em conformidade com as exigências ambientais e os de pós-consumo, que podem ou não ser descartados nos aterros sanitários, além das restrições ao uso de produtos que utilizaram matérias-primas secundárias no seu conteúdo (LEITE, 2003).

Assim, este artigo propõe a valorização desses metais, tanto na sua extração dos circuitos eletrônicos, tornando-os menos tóxicos ao meio ambiente, como em sua recuperação, retornando alguns metais para a cadeia produtiva.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1- Sucatas eletrônicas e meio ambiente

De acordo com a Norma Brasileira de Classificação de Resíduos, ABNT NBR 10004:2004, lixo eletrônico é classificado como resíduo perigoso classe I.

A Tabela 1 resume as substâncias perigosas existentes nas sucatas eletrônicas, tais como metais pesados (mercúrio, chumbo e cádmio) de baterias, a cobertura fluorescente das telas dos monitores, plásticos contaminados com retardadores de chamas, metais pesados

contidos em circuitos impressos, termostatos, bifenilas policloradas presentes em capacitores, clorofluorocarbono (CFC) presente em espumas e circuitos de refrigeração, entre outros.

Tabela 1: Componentes mais perigosos em sucatas eletrônicas e equipamentos eletrônicos.

Componentes e Materiais	Descrição
Baterias	Metais pesados como chumbo, mercúrio e cádmio estão presentes nas baterias.
Tubos de Raios de Catodo	Chumbo nos vidros de cone e painel fluorescente cobrindo o painel de vidro.
Mercúrio contendo componentes, tais como interruptores	Mercúrio é usado em termostatos, sensores, relés e interruptores. É também usado em equipamentos médicos, transmissão de dados, telecomunicação e telefones celulares.
Resíduos de Amianto	Resíduos de amianto tem de ser tratados seletivamente.
Cartuchos de toner, líquida e pastosa, bem como toners coloridos	Toner e cartuchos de toners tem de ser separados de qualquer coleta seletiva.
Placas de Circuitos Impressos (PCI)	Nas placas de circuito impresso, cádmio está presente em certos componentes, como SMD chips resistores, detectores infravermelhos e semicondutores.
Pifenilospoliclorados (PCB) contendo capacitores	PCB-contendo capacitores tem de ser removidos para uma destruição segura.
LCD (Liquid Cristal Display)	LCDs tem de ser removidos das coletas seletivas.
Plásticos contendo halogênios	Durante a incineração de plásticos contendo halogênios, pode-se produzir substâncias tóxicas.
Equipamentos contendo CRC, HCFC ou HFCs	CFC presente em espumas e circuitos refrigeradores devem ser prioritariamente extraídos e destruídos ou reciclados.
Lâmpadas de descargas de gás	Mercúrio deve ser removido

Fonte: CUI, 2003.

Dentre as regulamentações existentes para sucata eletrônica no mundo, a legislação Europeia é considerada a mais avançada (Serrano, 2009). No Brasil, alguns Governos Estaduais, como os de São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Santa Catarina, mobilizaram-se para elaborar regulamentações para os resíduos eletrônicos. Apenas em 2010, foi regulamentada uma Lei em âmbito federal, denominada de Política Nacional dos Resíduos Sólidos.

2.2- Valoração Ambiental

A valoração ambiental tem se tornado assunto de grandes discussões em todo o mundo, isso porque o valor econômico dos recursos ambientais, na grande maioria das vezes, não é facilmente observado pelo mercado, por meio de preços que reflitam seu custo de oportunidade, bem como o seu valor derivado de todos os atributos, que podem estar ou não associados a um uso.

Em outras palavras, de acordo com Romero (1999), a valoração ambiental é um conjunto de técnicas e métodos que permitem medir as expectativas de benefícios e custos derivados de algumas das seguintes ações:

- a) Uso de um ativo ambiental;
- b) Realização de melhora ambiental;
- c) Geração de um dano ambiental.

Existem diversas formas de possível valoração do meio ambiente, podendo ser ambiental, ecossistêmico, de serviços ambientais ou até valor sentimental (dor moral), ou ainda todos combinados em muitas hipóteses. Entre as maneiras mais citadas na literatura, o valor ambiental, chamado de Valor Econômico dos Recursos Ambientais (VERA), segundo Motta (1997), pode ser medido somando os valores de uso dos recursos ambientais (VU) com os valores de não uso (VNU) desses recursos, expresso de acordo com a fórmula:

$$\text{VERA} = \text{VU} + \text{VNU}$$

Após desagregarmos os valores definidos na fórmula, a nova expressão para a Valoração de Recursos Ambientais seria:

$$VERA = (VUD + VUI + VO) + VE$$

A tabela 2 mostra a taxonomia para valoração dos recursos ambientais e identifica casos específicos do uso dos recursos da biodiversidade.

Tabela 2: Taxonomia geral do valor econômico do Recurso Ambiental

EXEMPLOS DE VALORES ECONÔMICOS DOS RECURSOS DA BIODIVERSIDADE			
Valor de Uso			Valor de Não-uso
Valor de Uso Direto (VUD)	Valor de Uso Indireto (VUI)	Valor de Opção (VO)	Valor de Existência (VE)
Provisão de recursos básicos, alimentos, medicamentos e não madeireiros, nutrientes, turismo	Fornecimentos de suportes para as atividades econômicas e bem-estar humano, por exemplo: proteção dos corpos d'água, estocagem e reciclagem de lixo. Manutenção da diversidade genética e controle de erosão. Provisão de recursos básicos, por exemplo: oxigênio, água e recursos genéticos	Preservação de valores de uso direto e indireto	
Uso não-consumptivo: recreação, marketing			Florestas como objetos de valor intrínseco, como uma doação, um presente para outros, como uma responsabilidade. Inclui valores culturais, religiosos e históricos
Recursos genéticos de plantas	Provisão de benefícios associados a informação como conhecimento científico		

Fonte: SBSTTA (1996)

Percebe-se que um tipo de uso pode excluir outro tipo de uso do recurso ambiental. Por exemplo, o uso de uma área para agricultura exclui seu uso para conservação da floresta que cobria o solo. Assim, ainda segundo Motta (1997), o primeiro passo na determinação do “VERA” será identificar os conflitos de uso. O segundo passo será a determinação desses

valores. Para ser possível captar as distintas parcelas do valor econômico dos recursos ambientais, diversos métodos foram criados.

Os métodos de valoração mais utilizados estão divididos em:

- a) Função de Produção – Método subdividido entre Produtividade Marginal e Métodos de Mercado de Bens Substitutos;
- b) Função de Demanda – Método subdividido entre Mercado de Bens Complementares e de Valoração Contingente.

Ciente da complexidade da precificação ambiental e da diversidade de métodos utilizados entre vários autores, o foco principal do trabalho refere-se apenas a uma das partes para Valoração Ambiental, no que tange somente ao reaproveitamento ou reciclagem dos resíduos de sucata eletrônica.

3- METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, o procedimento experimental apresenta uma complexidade, em função dos recursos instrumentais necessários. Consiste em uma digestão ácida das sucatas eletrônicas em solução de Água Régia e posterior análise das amostras previamente filtradas por um ICP-EOS, ou seja, utilizando a técnica de espectroscopia emissão óptica por plasma induzido.

As placas apresentam variações de composição e componentes, devido à evolução tecnológica. A placa mãe do computador do tipo desktop, chamada de placa A, foi pesada e alguns de seus componentes, separados - pente de memória, processador, placa de circuito integrado e pinos conectores. A massa inicial da placa bruta, contendo todos os componentes, era de 1,5 kg. É sabido que alguns metais nobres, como Au (ouro) e Ag (prata), podem ser encontrados em sua composição e estão concentrados nos componentes que foram separados. Os demais componentes da placa A foram removidos sem interesse de valoração, como partes ferrosas, partes plásticas e de alumínio, dissipadores de calor capacitores e resistores. Essas partes são chamadas, no mercado das sucatas eletrônicas, de “depreciadores”, uma vez que diminuem o valor econômico das placas eletrônicas.

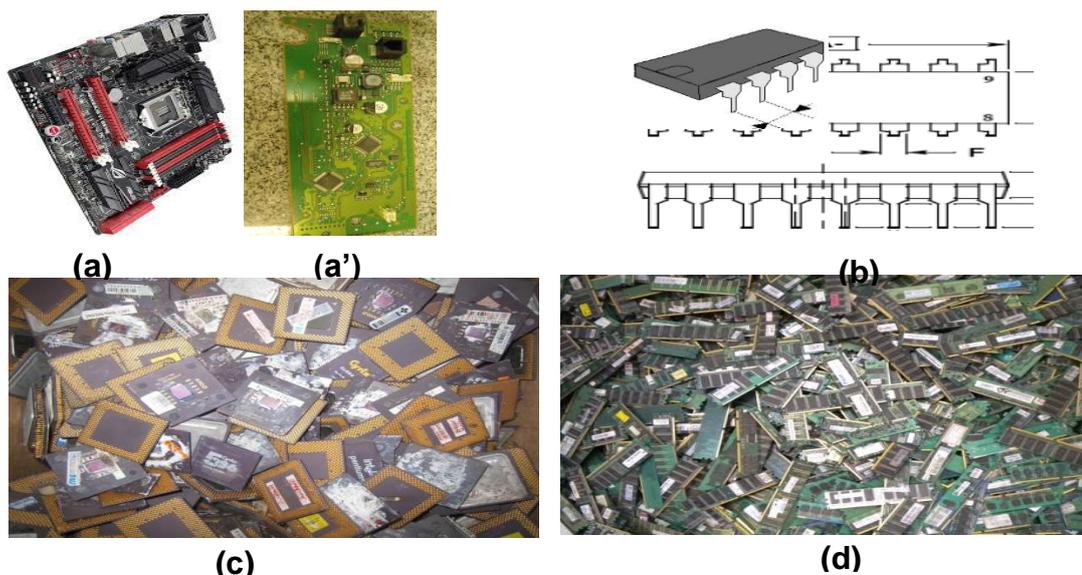


Figura 1: Imagens dos componentes utilizados como amostras: (a) Placa Mãe (a') Placa Integrada - PCI; (b) Pinos da Placa; (c) Processadores e (d) pentes de memória.

Após a remoção e separação, os componentes de interesse da placa A (figura 1) foram pesados, apresentando 800g de massa final. O próximo passo foi a sua redução de volume e preparação para análise no ICP. As amostras analisadas no ICP foram pesadas e suas respectivas massas encontram-se na tabela 3.

A placa de circuito integrado, chamada de placa B, seguiu o mesmo procedimento da placa A. Tanto a placa A quanto a placa B tiveram seus pinos conectores removidos ou raspados, gerando assim as amostras denominadas de pinos A e pinos B.

Tabela 3: Massa em kilograma das amostras analisadas

Dispositivos	Kg
Memória	0,05
Processador	0,05
Placa A	0,8
Placa B	0,25
Pino A	0,03
Pino B	0,02

O método de análise quantitativa consistiu em correr as amostras em três curvas padrões. O primeiro método consiste em uma curva multielementar de 25 elementos (Al, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sn, Sr, Ti, Tl, V, Zn) e com range de concentração de 1ppm a 100ppm.

A segunda curva contempla apenas os metais nobres (Au, Rh e Pt) e possui concentrações menores de 0,05 ppm a 2ppm. Para o terceiro método, foi feita uma curva com

range de concentração de 0,05 ppm a 5 ppm, para os metais nobres Prata (Ag), Índio (In) e Paládio (Pd).

Para a construção dos métodos, os padrões foram injetados em quintuplicatas, e para a obtenção dos resultados, as amostras foram corridas em triplicatas, a fim de garantir a reprodutibilidade e repetibilidade dos métodos e análises.

4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Utilizando-se dos dados representados na tabela 3, foi possível converter as massas metálicas, obtidas por meio do ICP, na massa real de cada metal contido nas respectivas amostras, porém, na tabela a seguir, estarão listados somente os metais com maior interesse de valoração econômica e já convertidos em g/kg.

Após o tratamento de todas as amostras, pôde-se notar que a técnica de espectrofotométrica via ICP-OES é uma grande ferramenta na identificação dos metais. Em uma única análise foram identificados 27 elementos metálicos, dos 31 metais existentes no método. Os resultados de metais obtidos da análise de ICP-EOS foram listados conforme maior interesse de valoração ambiental, como mostrado na tabela 4.

Foi observado também que alguns metais, que compõem a massa das amostras de sucata eletrônica, possuem uma toxicidade e periculosidade alta (chumbo e cromo), de acordo com a ABNT 10004:2004. Pode-se então considerar mais uma razão para preocupar-se em encontrar tecnologia de recuperação desses metais.

Tabela 4: Metais com maior interesse de valoração em g/kg de placa

Parâmetro	Unidade	Memória de Servidor	Processador	Placa A	Placa B integrada	Pino A (placa mãe)	Pino B (conector)	TOTAL
Alumínio	g	2,084	0,003	1,975	0,136	0,046	9,784	14,029
Cobalto	g	0,002	0,036	0,012	0,012	0,001	0,002	0,066
Cromo	g	0,044	0,003	0,000	0,000	0,000	0,002	0,048
Cobre	g	0,270	0,030	545,118	125,810	6,082	1,176	678,485
Ferro	g	2,654	2,025	22,035	1,592	0,022	0,295	28,623
Molibdênio	g	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
Níquel	g	0,179	1,448	0,000	1,629	0,074	0,001	3,331
Chumbo	g	0,160	0,006	0,059	0,793	0,573	0,008	1,600
Estanho	g	0,034	0,038	5,575	1,265	0,000	0,005	6,917
Titânio	g	0,011	0,000	0,010	0,002	0,000	0,002	0,026
Tálio	g	0,034	0,000	0,058	0,000	0,000	0,000	0,092
Zinco	g	11,815	0,001	0,000	0,000	2,217	0,015	14,048
Prata	g	0,469	0,003	0,000	0,000	ND	0,022	0,495
Índio	g	0,000	0,003	0,001	0,001	ND	0,022	0,027
Ouro	g	0,805	0,308	0,031	0,306	0,036	0,011	1,497
Paládio	g	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,011
TOTAL GERAL								749,298

Feito o agrupamento dos metais de interesse para uma possível valoração, percebe-se que a quantidade total de metais na placa, a qual pode ser valorada, não apresentou grandes variações, que em percentual representa 62,4%. Descartando os valores de elementos sem interesse econômico, tais como Na e K, ainda assim quase 100% do valor mássico encontrado são de grande potencial econômico.

Existem diversos processos industriais, sejam eles químicos, eletroquímicos e de fundição, que podem utilizar essa grande quantidade mássica encontrada como matéria-prima ou insumo, o que torna esse tipo de resíduo cada vez mais promissor para ser valorada.

Visto que a sucata eletrônica, se utilizada em escala industrial como matéria-prima de um processo, será mensurada em toneladas, fez-se então a conversão dos resultados encontrados na tabela 4 para gramas de metais/tonelada de sucata (g/ton). Os resultados seguem na tabela 5.

Tabela 5: Metais com maior interesse de valoração em g/ton de placa.

Parâmetro	Unidade	Memória de Servidor	Processador	Placa A	Placa B integrada	Pino A (placa mãe)	Pino B (conector)	TOTAL
Alumínio	g/ton	2084,300	2,600	1975,200	136,250	46,380	9784,080	14028,810
Cobalto	g/ton	1,700	36,200	12,000	12,250	1,290	2,280	65,720
Cromo	g/ton	43,900	2,700	0,000	0,000	0,000	1,720	48,320
Cobre	g/ton	269,600	30,000	545118,400	125809,750	6081,810	1175,520	678485,080
Ferro	g/ton	2653,650	2025,050	22035,200	1591,500	22,170	295,160	28622,730
Molibdênio	g/ton	0,500	2,650	0,000	0,000	0,000	0,000	3,150
Níquel	g/ton	179,300	1447,900	0,000	1629,250	73,860	0,620	3330,930
Chumbo	g/ton	160,350	5,750	59,200	793,250	573,420	8,380	1600,350
Estanho	g/ton	34,150	38,400	5575,200	1264,750	0,240	4,740	6917,480
Titânio	g/ton	10,800	0,000	10,400	2,250	0,000	2,360	25,810
Tálio	g/ton	34,000	0,000	58,400	0,000	0,000	0,000	92,400
Zinco	g/ton	11814,850	0,650	0,000	0,000	2217,000	15,280	14047,780
Prata	g/ton	469,100	3,400	0,000	0,000	ND	22,000	494,500
Índio	g/ton	0,000	3,100	0,800	1,250	ND	21,780	26,930
Ouro	g/ton	804,500	308,100	31,200	306,000	35,700	11,080	1496,580
Paládio	g/ton	0,150	0,000	11,200	0,000	0,000	0,080	11,430

A partir dos resultados obtidos por tonelada de placa, como mostrado na tabela 5, o valor mássico dos metais, calculados individualmente, faz com que a recuperação destes passe a ser um processo economicamente viável a ser considerado.

Observando-se a quantidade mássica por tonelada do metal Índio, nota-se que, apesar de não apresentar um valor expressivo, o seu valor comercial o torna atrativo do ponto de vista econômico. As características naturais e sua aplicação tecnológica são outros atrativos na valoração desse metal.

Considerando-se que a quantidade de Índio encontrada no minério, seu teor típico é de 100 g/ton e com uma difícil extração, assim o valor mássico de 26,930 g/ton por placa mostra-se muito promissor para a valoração deste resíduo metálico. Já quanto à sua aplicação, é utilizado na fabricação de baterias e células secas, vidros resistentes a altas temperaturas, telas de LCD e visores do tipo touch screen. (Zuccheratte, 2010).

Sabe-se que muitos metais são commodities e também que alguns metais possuem valores monetários elevados, como ouro, prata, índio, paládio entre outros (figura 2). Os valores das commodities mostram a quanto está sendo negociada uma tonelada dos metais na data da pesquisa em questão. Essa informação pode ser bastante relevante nas tomadas de decisões relativas à escolha dos métodos de valoração ambiental.

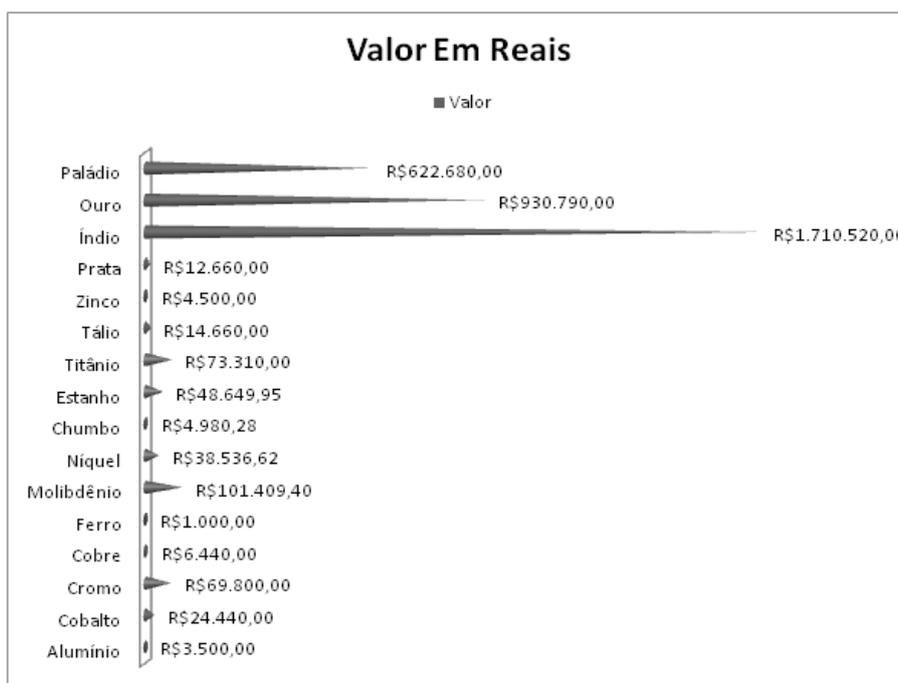


Figura 2: Valor das commodities em reais por toneladas
 Fonte: London Metal Exchange - LME

Analisando o gráfico, nota-se que os valores das commodities servem de guia para a escolha do metal que se deseja recuperar, mas ainda assim não é o suficiente para a precificação da sucata eletrônica quando transformada em recurso ambiental, visto que a sucata eletrônica apresenta valores agregados como o de não uso, o que torna sua valoração complexa como demonstrado na tabela 2.

Sabendo-se dos preços dos metais de interesse por tonelada (R\$/ton), pode-se então estimar a valoração de uma tonelada de placas e/ou por componente de interesse para valoração. A precificação está expressa na tabela 6:

Tabela 6: Receita bruta de recuperação por tonelada de placa e seus dispositivos.

Parâmetro	Unidade	TOTAL	Valoração R\$	Memória de Servidor	Valoração R\$
Alumínio	g/ton	14028,810	49,101	2084,300	7,295
Cobalto	g/ton	65,720	1,606	1,700	0,042
Cromo	g/ton	48,320	3,373	43,900	3,064
Cobre	g/ton	678485,080	4369,444	269,600	1,736
Ferro	g/ton	28622,730	28,623	2653,650	2,654
Molibdênio	g/ton	3,150	0,319	0,500	0,051
Níquel	g/ton	3330,930	128,363	179,300	6,910
Chumbo	g/ton	1600,350	7,970	160,350	0,799
Estanho	g/ton	6917,480	336,535	34,150	1,661
Titânio	g/ton	25,810	1,892	10,800	0,792
Tálio	g/ton	92,400	1,355	34,000	0,498
Zinco	g/ton	14047,780	63,215	11814,850	53,167
Prata	g/ton	494,500	6,260	469,100	5,939
Índio	g/ton	26,930	46,064	0,000	0,000
Ouro	g/ton	1496,580	1393,002	804,500	748,821
Paládio	g/ton	11,430	7,117	0,150	0,093
TOTAL		Total	6444,239		833,521

A tabela 6 apresenta o valor em reais que podem ser ganhos na valoração de uma tonelada de placas ou em uma tonelada dos outros dispositivos analisados neste trabalho.

Para uma melhor compreensão, foram feitas algumas considerações, comparando-se os resultados apresentados entre a amostra chamada placa A e um de seus dispositivos, a memória. As visualizações desses valores estão expressas na figura 3.

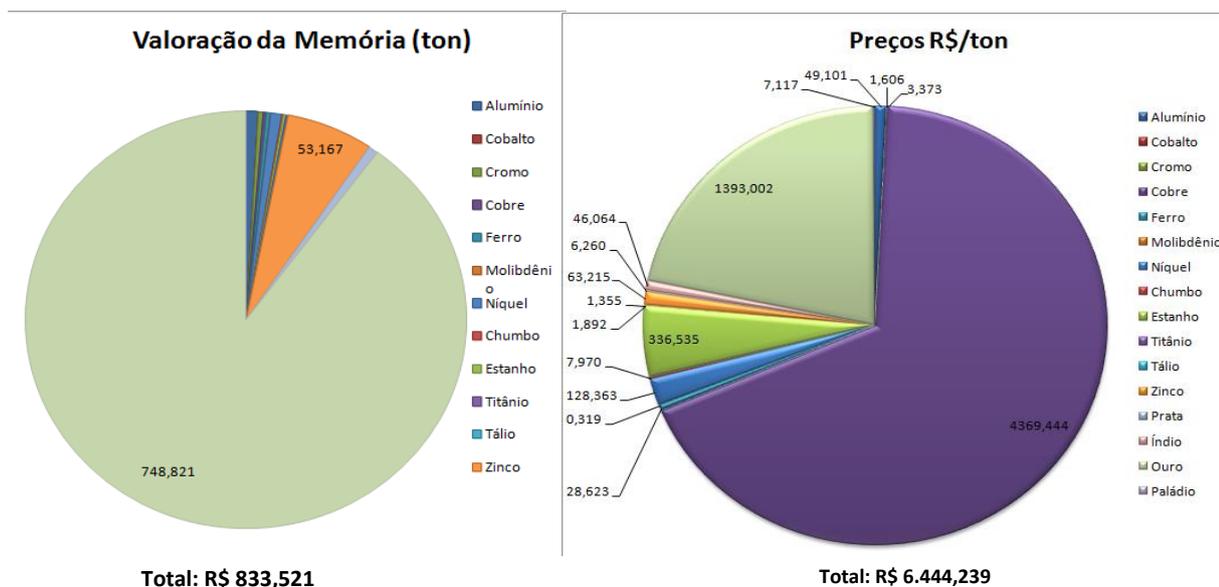


Figura 3: Valoração em reais dos metais constituintes: (a) por tonelada da memória; (b) por tonelada da placa A.

No gráfico (a) da figura 3, correspondente à valoração da memória, observa-se uma valoração de R\$ 833,52 por tonelada da mesma. Nota-se também que, do valor total de R\$ 833,521, a quantia de R\$ 748,821 corresponde a 89,83%, referentes à quantidade mássica de ouro contida na memória. No gráfico (b) da figura 3, tem-se valorado a quantidade total de metais constituintes da placa. É notado que, nesse caso, a fração mássica de ouro corresponde a R\$ 1393,002, o que equivale a 21,62% da quantidade total. Esses resultados sugerem que a valoração desses metais poderá variar de acordo com a composição mássica e a escolha dos dispositivos eletrônicos que compõem as sucatas eletrônicas.

Se idealizarmos uma tecnologia de valoração ambiental e simularmos um processo industrial, considerando um único turno de 8 horas, em que se tem dois reatores processando uma tonelada de material por batch, a cada 2h30 (ou duas horas e meia – fica mais claro), no final do processo têm-se seis batches produzidos. Se for usado uma tonelada da placa A como matéria-prima dessa produção, será possível valorar R\$ 38.665,43 em metais recuperados. Já para um processo usando apenas a memória como matéria-prima, nas mesmas condições, é possível valorar R\$ 5.000,01 aproximadamente por tonelada em um dia de produção.

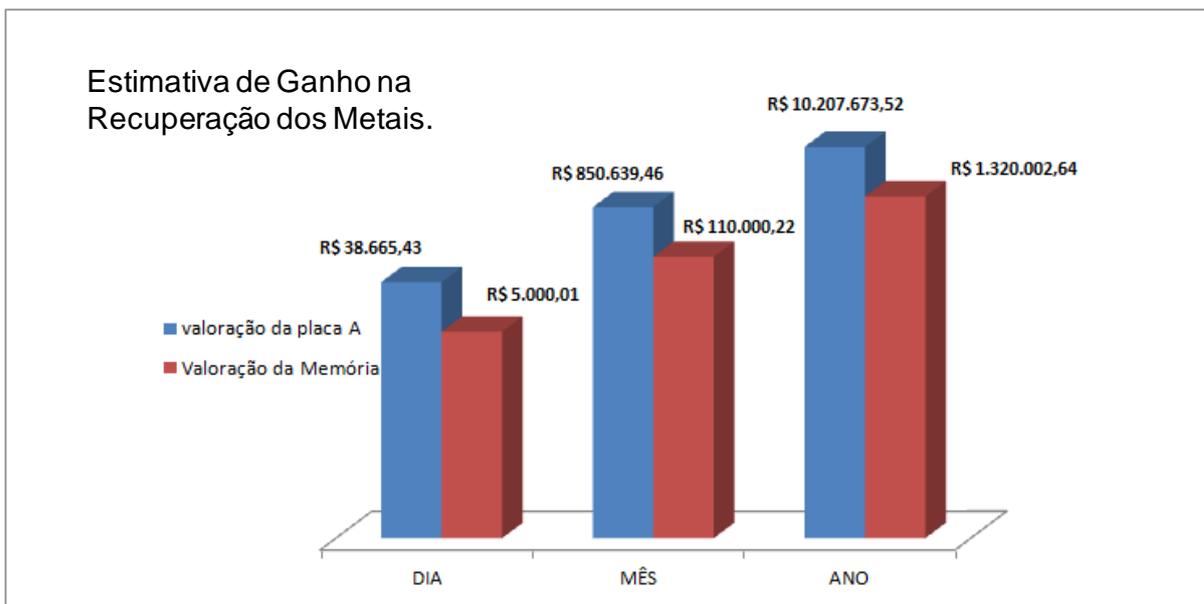


Figura 4: Estimativa de ganhos na Recuperação dos Metais em um processo com 1 turno de 8 horas.

Dessa forma, projeções de valoração podem ser calculadas conforme figura 4, obtendo-se estimativas de ganhos entre R\$ 1.320.000,0 até R\$ 10.210.000,00 anuais, desconsiderando os custos e perdas no processo de recuperação dos metais.

É importante entender que nem sempre o maior valor de receita bruta é garantia de uma maior lucratividade. A escolha em valorar a placa-mãe, sabendo-se que a maior

contribuição para o ganho seja a dos metais como cobre e alumínio, talvez não seja capaz de ressarcir os custos operacionais do processo. A compensação poderia ser alcançada por meio de volumes de produção, com a venda para indústrias que necessitam de grandes volumes de matéria-prima, como fio de cobre ou latas de alumínio. Por outro lado, valorando somente as memórias ou os processadores, a maior parte da receita virá da recuperação de metais nobres, como o ouro e a prata.

Assim, destaca-se a importância de compreender a tecnologia industrial, que será utilizada na recuperação desses metais, para reduzir ao máximo os custos em relação ao processo, como o número de etapas, custo dos insumos e mão de obra, para só então optar pela melhor matéria-prima (placa inteiras) ou por certos componentes.

Os resultados não devem ser extrapolados para um processo produtivo real, uma vez que dificilmente a composição mássica será a mesma. Essa composição varia consideravelmente conforme o fabricante desses dispositivos eletrônicos e a tecnologia neles empregada.

5- CONCLUSÃO

Devido ao avanço tecnológico e ao aumento do consumo, os equipamentos eletrônicos são rapidamente substituídos e descartados na natureza. No Brasil, os resíduos comumente são dispostos sem qualquer controle ou cuidados ambientais.

Neste trabalho, foi possível identificar 27 metais dos 31 existentes no método, utilizando-se a técnica espectrométrica via ICP. Dentre os metais identificados por essa técnica, muitos são os chamados metais pesados, extremamente tóxicos ao meio ambiente e à saúde humana.

Contudo, foram também identificados alguns metais nobres, como ouro, prata, paládio e índio.

Todos os metais identificados neste estudo possuem potencial econômico, o que torna o investimento em tecnologias para a sua recuperação atraente, contribuindo assim na redução da sua toxicidade e disposição no meio ambiente.

As análises via ICP mostraram que até 62,4% da massa da placa-mãe tratada são de metais que podem ser recuperados, e que existe uma grande diferença nas composições metálicas dos dispositivos.

Agrupando-se os metais com maior interesse econômico, foi possível identificar a contribuição monetária de cada metal nas amostras de sucata eletrônica analisadas. Verificou-

se, na placa A, o cobre como o metal de maior contribuição em sua valoração; já para a memória, o ouro foi responsável por 89,3 % de sua valoração.

As simulações de um processo de recuperação dos metais demonstraram que existem possibilidades de ganhos entre R\$ 1.000.000,0 a R\$ 10.000.000,0 anuais, e que esses valores estão diretamente ligados à contribuição mássica dos metais em cada dispositivo. Pôde-se inferir também que nem sempre a maior receita sugerida será o melhor parâmetro de escolha para uma valoração economicamente viável. Outros fatores, como a comercialização do metal a ser recuperado, a sua aplicação tecnológica e os custos do processo de recuperação, devem ser considerados.

O fato é que independente da escolha, as sucatas eletrônicas podem ser economicamente utilizadas, ao invés de serem descartadas em aterros sanitários ou ainda diretamente no solo, causando problemas ambientais sérios, por meio da contaminação de seus constituintes metálicos.

Muitos desses metais são os denominados metais pesados, que podem agravar os impactos ambientais ao sofrerem os processos de lixiviação, quando dispostos inapropriadamente no solo, atingindo as águas superficiais ou percolando e alcançando as águas subterrâneas.

Outros trabalhos encontrados na literatura, como o trabalho realizado por Vivas e Costa, 2013, ressaltam o grande potencial econômico na recuperação dos metais, que constituem placas de circuitos integrados no Brasil e no estado da Bahia, ressaltando o quanto é perdido em milhões de reais por ano, por falta de tecnologia ou políticas públicas de incentivo à reciclagem e logística reversa desses materiais.

Conclui-se que as sucatas eletrônicas possuem um grande potencial econômico como matéria-prima fornecedora de metais.

Mesmo com a instituição de uma política nacional de resíduos sólidos, o Brasil possui poucas iniciativas voltadas aos cuidados com esse tipo de resíduo. As poucas iniciativas encontradas são privadas e quase todas voltadas à coleta e exportação das sucatas eletrônicas para outros países.

Desta maneira, conclui-se também que a falta de políticas públicas e investimentos em tecnologias faz com que milhões de reais sejam desperdiçados, com a disposição das sucatas em aterros, ou evadidos para os países com tecnologias capazes de recuperar esses metais.

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT-Associação Brasileira de Normas técnicas.**Resíduos sólidos - classificação**.ABNT NBR 10004:2004.

DONAIRE, D. **Gestão Ambiental na Empresa**. 2 ed.São Paulo: Atlas, 1999.

LEITE, Paulo R. **Logística Reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

LONDON METAL EXCHANGE,Disponível em :<<http://www.lmebrasil.com.br/index2.asp>> .Acesso em 08 nov. 2014.

MAIA, A. G.; ROMEIRO. A. R.; REYDON, B. P.**Valoração de recursos ambientais – metodologias e recomendações**.n.116, Campinas, 2004.

METAL PRICES. Disponível em: < <http://www.metalprices.com/>> . Acesso em 08 nov. 2014.

MOTTA, R. S.**Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. Rio de Janeiro, 1997.

PENSAMENTOVERDE. Disponível em:<<http://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/o-que-e-valoracao-ambiental-e-como-ela-ajuda-diminuir-o-impacto-meio-ambiente/>>. Acesso em: 22 ago. 2014.

ROMERO, Carlos. **Economia de los recursos ambientales y naturales**. 2.ED. Madrid: Alianza Editorial, 1997.

SERRANO, F. A legislação europeia e oe-waste.**JornalO Estado de São Paulo**, seção meio ambiente,8nov. 2009.

VIVAS, R. C.; COSTA, F. P. Potencial econômico na recuperação dos metais contidos nas placas de circuitos integrados no Brasil. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2013, Bahia, Salvador...Santa Cruz; UESC, 2013. P. 1-8.

ZUCCHERATTE, A. C. V. ET al. **Diretrizes para remediação ambiental do lixão do município de Matozinhos – MG**. Dezembro/2010: Trabalho final de Curso – Universidade FUMEC. Belo Horizonte, 2010.