

TÉCNICAS PARA A RECICLAGEM DE PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESSOS DOS APARELHOS ELETRÔNICOS

TECHNIQUES FOR THE RECYCLING OF PRINTED CIRCUIT BOARDS OF ELECTRONIC DEVICES

Antonio Cesar Silva Sacco - FATEC - Tatuí - cesar@csclw.com.br

Luciano Lopes Salgado - FATEC - Tatuí - lucianosalgado_83@outlook.com

Oswaldo D'Estefano Rosica - FATEC - Tatuí - osvaldo.rosica@fatec.sp.gov.br

Marcos Wagner Rangel de Camargo Junior - FATEC - Tatuí - mwrcjr@yahoo.com.br

Sérgio Eduardo Lopes Salgado - FATEC - Tatuí - legsergio@hotmail.com

RESUMO: Como consequência ao crescente número de benefícios e praticidades proporcionados pela tecnologia presente nos dispositivos eletrônicos, há o descarte destes tipos de aparelhos com uma frequência cada vez maior pelos usuários, em função da sua obsolescência mercadológica e operacional. Isso gera uma correlação entre a utilização fundamental da tecnologia em todos os aspectos cotidianos do homem com a elevação do número de lixo eletrônico produzido. A falta de planejamento quanto aos resíduos gerados por aparelhos eletrônicos se tornou um problema no âmbito ambiental, ocasionando o acúmulo em aterros e a poluição do solo devido a uma grande quantidade de substâncias nocivas presentes nestes aparelhos. A solução para diminuir os impactos gerados é a reciclagem dos componentes usados na fabricação dos dispositivos eletrônicos. Assim, o objetivo deste trabalho é estudar os meios de reciclagem das placas de circuito impresso que estão presentes na maioria dos equipamentos tecnológicos. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica visando identificar práticas de reciclagem direcionadas a estes tipos de resíduos, padrões, métodos e a viabilidade destes procedimentos. O estudo permitiu constatar o quão complexa é a formação das PCI's e sua consequente reciclagem deve ser realizada através de uma combinação de processos para que o resultado da recuperação seja plenamente satisfatório e viável.

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem. Placas de Circuito Impresso. Aparelhos Eletrônicos.

ABSTRACT: As a consequence of the increasing number of benefits and practices provided by the technology present in the electronic devices, there is the discarding of these types of devices with an increasing frequency by the users, due to its market and operational obsolescence. This generates a correlation between the fundamental use of technology in every everyday aspect of man with the increase in the number of electronic waste produced. The lack of planning for waste generated by electronic devices has become a problem in the environment, causing the accumulation in landfills and soil pollution due to a large amount of harmful substances present in these devices. The solution to reduce the impacts generated is the recycling of the components used in the manufacturing of electronic devices. Thus, the objective of this work is to study the means of recycling printed circuit boards that are present in most technological equipment. For this, a bibliographical review was carried out aiming to identify recycling practices directed to these types of residues, standards, methods and the viability of these procedures. The study showed how complex the formation of ICPs is and their consequent recycling must be carried out through a combination of processes so that the result of the recovery is fully satisfactory and viable.

KEYWORDS: Recycling, Printed Circuit Boards, Electronic Devices.

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos eletroeletrônicos, também conhecidos pelo termo REEE (Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos) , são os resquícios gerados a partir da inúmera variedade de aparelhos eletrônicos de uso doméstico, comercial, industrial e de serviços, cujos componentes já não tenham mais utilidade em sua forma original e se encontram em desuso (VEIT, 2010). Alguns dos exemplos destes aparelhos são: Computadores, Televisores, Smartphones, Impressoras e Calculadoras.

O avanço tecnológico e a incorporação de novas funcionalidades passaram a ser o fator responsável pelo aumento crescente na troca de aparelhos eletrônicos pelos usuários. Este fato gera uma grande preocupação em relação ao impacto que acarretará ao meio ambiente, haja vista a quantidade de metais e de substâncias tóxicas existentes nestes aparelhos (MORAES, 2011), por exemplo: Mercúrio, Chumbo, Fósforo e Cádmiu que podem contaminar o solo e o lençol freático tornando a água imprópria para o consumo humano (UERJ, 2014). Carente de políticas e de meios de destinação antipoluentes, a grande maioria deste lixo acaba em aterros sanitários onde ocorre a lixiviação dos poluentes eliminados após entrarem em contato com a água da chuva, ou ainda estão sujeitos a sofrerem outros processos químicos e físicos prejudiciais ao solo (RODRIGUES, 2004).

A poluição do meio ambiente não é o único problema no descarte dos equipamentos eletrônicos. Com um montante cada vez maior de lixo proveniente destes aparelhos, o espaço físico que é ocupado por estes resíduos nos aterros também é um fator alarmante, considerando que as projeções são sempre de aumento de resíduos eletrônicos descartados pelos usuários. Desta maneira a reciclagem se torna uma alternativa de contrabalancear o fluxo de disposição deste tipo de lixo nos aterros. Entretanto, os resíduos eletroeletrônicos têm uma complexidade maior no tratamento, pois são formadas por uma grande variedade de materiais e, assim sendo, para se viabilizar a reciclagem deste material é imprescindível conhecer e detalhar os itens que o compõem e aplicar um direcionamento adequado de processos de reciclagem para cada material.

Presentes na grande maioria dos equipamentos eletrônicos, as placas de circuito impresso (PCI's) são fabricadas para suprir a necessidade de uma condução eficaz da corrente elétrica durante a operação de um aparelho. Desta forma, o grau

de pureza dos metais presentes nas PCI's, chegam a atingir de 10 a 20 vezes mais do que o estado em que são encontrados na natureza (VENTURA, 2014).

Deste modo, a reciclagem das placas de circuito impresso tem se tornado cada vez mais atrativa, já que além de proporcionar uma vantagem econômica, também proporciona uma vantagem ambiental. Considerando aspectos como a não poluição através dos materiais encontrados nas PCI's, a diminuição destas placas em aterros e em lixões e, ainda em caso de uma recuperação positiva de metais presentes na mesma, há uma diminuição de áreas degradadas por uma possível mineração. Pretende-se com este trabalho, mostrar os métodos usados para a reciclagem de Placas de Circuito Impresso e os tipos de metais que podem ser recuperados a partir destes procedimentos.

As PCI's são classificadas inicialmente quanto à sua formação básica em: Face Simples, Face Dupla e ainda em Multicamadas (VENTURA, 2014). A característica que vai determinar o tipo correspondente de classificação é a quantidade de superfícies revestidas com cobre, ou seja, as superfícies condutoras no modelo de placa.

Considerando os elementos químicos em sua constituição (especificamente os chamados metais nobres) as PCI's podem receber ainda um outro tipo de classificação: placas pobres e placas ricas. As placas consideradas pobres são aquelas que possuem uma concentração muito baixa de metais como o ouro e uma grande quantidade de plásticos em sua totalidade. Conseqüentemente, as placas consideradas ricas são as que possuem as características inversas e, trazem um retorno econômico maior após os processos de reciclagem.

2 METODOLOGIA

A pesquisa buscou identificar os procedimentos utilizados para a reciclagem de Placas de Circuito Impresso, componentes que estão presentes nos mais diversos aparelhos eletrônicos, e cada vez mais descartados no meio ambiente, onde acabam por contribuir com o aumento exponencial de REEE's em lixões, bem como na contaminação do solo através dos materiais químicos presentes em sua composição.

Trata-se de uma pesquisa bibliográfica onde se reúnem informações encontradas em outros trabalhos científicos referentes ao tema, demonstrando as características de cada procedimento e o modelo de aplicação dentro da proposta de

reciclagem. As informações levantadas, auxiliam nas questões ambientais, sociais e econômicas da população e visa contribuir para minimizar o impacto gerado por este tipo de descarte de lixo, um problema relativamente novo considerando toda a história da humanidade.

Também são apresentados alguns exemplos de procedimentos que proporcionam uma recuperação adequada e aceitável de matérias, cuja obtenção natural é custosa e laboriosa, como os metais.

3 DESENVOLVIMENTO

Com foco nas placas de circuito impresso e na recuperação dos metais de maior valor presentes nos REEE's através da reciclagem, são utilizadas principalmente tecnologias da área de metalurgia, tais como a pirometalurgia, hidrometalurgia e biometalurgia. O processo de tratamento para a reciclagem pode ser dividido em 3 estágios: descaracterização (separação dos componentes e moagem dos materiais), beneficiamento (processos mecânicos/físicos e/ou metalúrgicos para concentração de materiais) e refino mecânico/químico (MORAES, 2011).

O estágio de descaracterização consiste no pré-tratamento de todo o processo de reciclagem e tem como finalidade preparar os resíduos eletrônicos para as fases subsequentes da recuperação de materiais, esta etapa pode ser dividida da seguinte forma: desmanche e fragmentação. A etapa de desmanche é o primeiro passo e é indispensável para que todo processo de reciclagem seja realizado com eficácia, sendo que esta deve seguir rigorosamente alguns procedimentos conforme (SANTOS, 2010), priorizar a reutilização do material, separação dos componentes perigosos e possibilitar uma separação posterior adequada de materiais valiosos ou que contenham considerável valor agregado.

A fragmentação corresponde ao tratamento mecânico utilizado para reduzir o volume do material residual. Pode-se identificar três razões primordiais para se efetuar a redução de tamanho do material. Primeiramente, tem-se a geração de partículas, facilitando sua respectiva manipulação e tratamento posterior. Em segundo lugar, a geração de partículas relativamente uniformizadas, seja em tamanho ou forma, possibilitando uma separação mais adequada das mesmas. E finalmente, a redução

propicia uma melhor liberação de materiais diferentes uns dos outros (KANG; SCHOENUNG, 2005).

A fragmentação que também pode ser denominada de cominuição, segundo OLIVEIRA (2012), utiliza vários mecanismos, tais como pressão, impacto, abrasão ou corte; nos quais é possível reduzir o tamanho da sucata de placas dentro de um compartimento fechado, considerando os calibres produzidos, a cominuição pode ser subdividida em: britagem (redução do resíduo a granulometrias superiores a 1 mm) e moagem (redução do resíduo a granulometrias inferiores a 1 mm).

Ao ser concluída a etapa de fragmentação é dado início aos processos de separação dos materiais resultantes do estágio de pré-tratamento anterior, que visam a concentração conjunta dos elementos a serem reaproveitados futuramente. Este estágio pode ser executado através de duas maneiras, sendo elas o processo físico/mecânico e o processo metalúrgico, e recebe o nome de beneficiamento.

O processamento físico/mecânico é realizado através de operações unitárias de tratamento de minérios com o objetivo de separar e concentrar os materiais existentes nos resíduos, baseando-se fundamentalmente em suas respectivas propriedades físicas, as quais como o calibre, a densidade, a condutividade a permeabilidade magnética e a ainda a ductilidade. Este tipo de processamento pode ser subdividido em 4 etapas, as quais podem ser feitas sequencialmente ou ainda aleatoriamente, dependendo da característica da amostra obtida após a fragmentação, são elas:

3.1 A separação granulométrica, que consiste na separação de amostras de partículas com tamanhos diferentes, após a passagem da mesma por uma ou mais séries de peneiras, que podem ser do tipo fixas, vibratórias inclinadas e horizontais, ou ainda grelhas (MORAES, 2011). Seu objetivo quanto aos resíduos provenientes das PCI's é após a separação das partículas, facilitar a caracterização dos materiais através das análises químicas identificando frações que contenham concentração de metais, cerâmicos ou polímeros (CUI; FORSSBERG, 2003).

3.2 Há também a separação magnética, que é um procedimento de concentração para o beneficiamento de minérios e remoção de materiais de sucatas no qual a fração magnética é separada. De acordo com a respectiva resposta do material ao campo

magnético é possível classificá-los em: ferromagnéticos (que serão fortemente atraídos), paramagnéticos (que serão fracamente atraídos), e ainda os diamagnéticos (que serão repelidos), ou seja, a forma de atração ou a repulsão dos materiais ao campo magnético identificará a sua categoria correspondente (LUZ; SAMPAIO; ALMEIDA, 2010), através deste tipo de separação é possível, no caso dos resíduos de PCI's, obter uma fração magnética, rica em ferro e níquel.

3.3 A separação eletrostática consiste no processo de concentração de materiais com propriedade elétrica condutora. Há dois fatores que influenciam na separação eletrostática, são eles: a intensidade do campo elétrico para conseguir desviar uma partícula eletricamente carregada e ainda a carga elétrica superficial de cada partícula. Ao final do processo os materiais serão classificados em condutores e não condutores de corrente elétrica. De acordo com Oliveira (2010), em se tratando das PCI's, a diferença de condutividade elétrica entre os metais e não metais é o fator determinante para um resultado positivo da técnica, tornando possível separar metais condutores de valor considerável como Cobre, Chumbo, Estanho, entre outros.

3.4 Por fim a separação gravimétrica é um método que tem por base a desigualdade de densidades dos componentes, tornando possível uma separação entre elementos mais e menos densos. A separação será feita através do movimento relativo de cada partícula como resposta à um fluido como água ou ar, criando uma concentração por gravidade (OLIVEIRA, 2012). Para tanto é imprescindível que o material submetido a separação tenha um tamanho aproximado a fim de evitar a influência de um valor maior de massa na interação com o fluido, fazendo com que a densidade seja o ponto único que diferenciação em cada camada de concentração. As atividades de separação, potencializam a recuperação dos metais de maior valor comercial, separando-os da parte inerte (SELTEK, 2015).

A separação de matérias pode ainda contar com processos metalúrgicos para sua finalização, os quais também são usados para a etapa final da reciclagem de PCI's a qual é denominada de refino. A metalurgia é a ciência que estuda a extração, transformação e aplicação de materiais metálicos, como o ferro, o ouro, a prata e o bronze. Considerando os materiais presentes nas placas de circuito impresso, os que

possuem maior valor e conseqüentemente maior interesse na recuperação são os metais, os processos derivados da metalurgia são processos indispensáveis no processo de reciclagem destes componentes, e cada um dos processos possuem características e metodologias próprias.

Processos Pirometalúrgicos, estes são compostos pela incineração, fusão, pirólise, sinterização e reações em fase gasosa a altas temperaturas (GERBASE; OLIVEIRA, 2012). Um processo pirometalúrgico, visando a recuperação de metais de resíduos de placas de circuito impresso, pode ser utilizado em várias etapas do processo, desde a secagem da matéria-prima até à refinação do produto final, sempre se utilizando de elevadas temperaturas para queimar os resíduos previamente triturados, obtendo sedimentos ricos em metais, que futuramente serão destinadas a um processo de refinação (VEIT, 2010). A incineração é a forma mais comum de eliminar os materiais poliméricos e orgânicos que estejam presentes nos resíduos electrónicos metálicos das PCI's. Durante o processo os materiais poliméricos contidos na amostra residual serão destruídos durante a queima obtendo-se um resíduo metálico.

Os processos hidrometalúrgicos baseiam-se na capacidade de solubilização dos metais, presentes nas PCI's, em meio aquoso, através de um processo de lixiviação, onde são utilizados ácidos e bases fortes, e seguem as seguintes etapas de separação: filtração, extração por solventes e precipitação, para possibilitar a recuperação dos metais dissolvidos (GERBASE; OLIVEIRA, 2012).

A aplicação prévia de processos físicos (fragmentação), e ainda a utilização de processos químicos (para preparação dos resíduos) são procedimentos importantes para que o processo de extração hidrometalúrgico seja bem-sucedido (ZHANG Y et al., 2012). Os processos mencionados anteriormente requerem quantidades muito inferiores de energia e apresentam-se maior previsibilidade, entretanto, assim como nos processos pirometalúrgicos, há geração de resíduos tóxicos, que neste caso são: os efluentes ácidos e alcalinos provenientes das soluções lixiviantes (ROCCHETTI et al., 2013). Neste tipo de processo podem ser seguidas várias vias de solubilização dos metais, e comumente os metais básicos são solubilizados em meios ácidos não muito concentrados, deixando os metais nobres por reagir, sendo o resíduo encaminhado para a refinação destes respectivos metais (OLIVEIRA, 2012).

Os processos eletrometalúrgicos tem como princípio básico a recorrência à eletrólise para a obtenção e refinação de metais. Processos baseados nessa metodologia exploram as reações de oxirredução não espontâneas que ocorrem através de eletrólitos aquosos ou sais fundidos (VENTURA, 2014). Processos eletrometalúrgicos ao contrário dos pirometalúrgicos, não apresentam consumos altamente elevados de energia, e em sua execução os metais necessitam de ser solubilizados (dissolvidos em outras substâncias), fazendo com que as operações de lixiviação estejam sempre presentes no procedimento (SCHWEICKARDT, 2006). A obtenção de metais provenientes de resíduos de PCI's pode ser feita da eletro-refinação quando o íon metálico que se visa recuperar se encontra em um estado metálico misturado com outros elementos, e também através da eletro-extração quando o eletrólito contém o íon metálico que se pretende obter, não possui nenhum tipo de mistura a outro elemento (VEIT, 2005).

Há ainda o processo biometalúrgico, que em comparação com os processos abordados anteriormente é a área mais recente da metalurgia com aplicação na recuperação de metais das PCI's. O procedimento recorre às ações entre microrganismos e minerais, para ocasionar a recuperação de metais valiosos. A combinação do metabolismo dos microrganismos com as transformações químicas dos minerais proporcionou aplicações relativamente simples e eficientes, aos processos físicos e químicos já existentes e utilizados no tratamento de metais (MORIN et al., 2006), sendo mais barata do que as convencionais além de não agredir o meio ambiente (VASCONCELOS, 2013).

A biolixiviação é considerada uma das tecnologias mais promissoras para o tratamento e recuperação de metais nos REEE's, pois é um processo com baixo custo de instalação e operação, não faz utilização de reagentes tóxicos e necessita de pouco consumo de energia (SILVAS, 2014), porém os longos períodos de consumação e a necessidade da exposição dos metais, apresentam-se como fatores limitantes destes procedimentos. Um estudo apresentado por (XIANG et al., 2010), relativo à solubilidade do cobre de resíduos de PCI's, cujo foco era analisar as condições de lixiviação utilizando um consórcio de bactérias enriquecido por uma amostra de efluente ácido proveniente de uma exploração mineira, apresentou resultados que comprovaram que o metal podia ser eficientemente solubilizado através do consórcio

microbiano em questão, alcançando um valor de 95% de extração do cobre após 5 dias.

4 CONCLUSÕES

Após a revisão bibliográfica visando o conhecimento sobre as técnicas utilizadas para o tratamento e reciclagem das PCI's foi possível constatar que, devido à complexidade e variedade dos materiais presentes nas placas de circuito interno, a sua recuperação e/ou reciclagem se torna um processo laborioso, detalhado e custoso, logo a aplicação das técnicas deve ser feita de forma minuciosa e com um nível de precisão altíssimo, possibilitando desta forma a recuperação do maior número possível de materiais, tornando assim a aplicação sustentável e viável.

Outro ponto a se considerar é o fato de que o acúmulo e a expansão do montante de resíduos eletro eletrônicos ser um problema atual e relativamente novo na história da humanidade, a busca por novas tecnologias de reciclagem e pesquisas direcionadas a estes procedimentos deve ser amplamente incentivada e buscada, desta maneira, torna-se possível encontrar outros métodos de aplicação, que conseqüentemente podem baratear, facilitar, otimizar ou ainda potencializar toda a operação de reciclagem quer sejam aplicadas isoladamente ou em conjunto com as tecnologias já consideradas e apresentadas neste estudo.

Também foi possível atestar que as técnicas pesquisadas não se anulam, e suas respectivas aplicações podem ser realizadas consecutivamente, pois a composição física das PCI's considerando o aparelho para qual é fabricada bem como a aplicação objetiva do mesmo, apresentará uma diversidade de materiais componentes e a combinação dos procedimentos de tratamento citados neste é a alternativa eficaz para amplificar a quantidade de elementos recuperados assim como o maior aproveitamento das amostras residuais.

Além das constatações anteriormente citadas, o conhecimento científico obtido por este estudo ainda proporcionará um embasamento futuro em novas pesquisas acerca do tema, as quais terão como finalidade um maior detalhamento sobre cada tecnologia encontrada, e ainda proporcionar uma fonte fundamentada de referência para conduzir experimentos práticos na recuperação de materiais provenientes das placas de circuito impresso descartadas.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, R. **Reciclagem de Placas de Circuito Impresso: Otimização da Operação de Processamento Físico**. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Dissertação de Engenharia de Materiais. Portugal, 2009.
- CHAVES, A. P.; PERES, A. E. C.. **Teoria e prática do tratamento de minérios: britagem, peneiramento e moagem**. Signus, São Paulo, v.3, p. 563, 511, 523 - 529, 1999.
- GERBASE A, OLIVEIRA C. **Reciclagem do lixo de informática: Uma nova oportunidade para a Química**. Quimica Nova. pp 1486–1492. 2012.
- HAGELUKEN C. **Improving metal returns and eco-efficiency in electronics recycling metals smelting and refining**. Unicore Precious Metals Refining. pp 218–223. 2006.
- HE, W. et al. **WEEE recovery strategies and the WEEE treatment status in China**. 2006. 502-12.
- KANG, H.-Y.; SCHOENUNG, J. M. **Electronic waste recycling: A review of US infrastructure and technology options**. Resources, Conservation and Recycling, v. 45, n. 4, p. 368-400, 2005. ISSN 0921-3449.
- KESTER. **Data Sheets Kester Inc. USA**, 2017. Disponível em: <<http://www.kester.com/downloads/data-sheets>>. Acesso em: 30/10/2017.
- LEGISLATIVO, P. **LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010**. Brasil 2010.
- LONG L, SUN S, ZHONG S, DAI W, LIU J, SONG W. **Using vacuum pyrolysis and mechanical processing for recycling waste printed circuit boards**. Journal of Hazardous Materials. pp 626–632. 2010.
- MORAES, V. T. D. **Recuperação de metais a partir do processamento mecânico e hidrometalúrgico de placas de circuito impresso de celulares obsoletos**. 2011. Universidade de São Paulo.
- MORIN D. et al. **BioMinE - Integrated project for the development of biotechnology for metal-bearing materials in Europe**. Hydrometallurgy. pp 69–76. 2006.
- OGUNNIYI, I. O.; VERMAAK, M. K. G.; GROOT, D. R.. **Chemical composition and liberation characterization of printed circuit board comminution fines for beneficiation investigations**. Waste management, v.29 p. 2140-2146, 2009.
- OLIVEIRA, C. R. D. **Alternativas tecnológicas para o tratameto e reciclagem do lixo de informática**. 2010.
- OLIVEIRA, Paula Cristina Filipe de. **Valorização de placas de circuito impresso por hidrometalurgia**. 290 p. Doutorado (Engenharia do Ambiente) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.
- ROCCHETTI L. et al. **Environmental impact assessment of hydrometallurgical processes for metal recovery from WEEE residues using a portable prototype plant**. Environmental Science & Technology. pp 1581–1588. 2013.
- RODRIGUES, A. C. **Resíduos De Equipamentos Elétricos E Eletrônicos. Congresso Brasileiro De Ciência E Tecnologia Em Resíduos E Desenvolvimento Sustentável**. Florianópolis: ICTR – Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável 2004.
- SCHWEICKARDT A. **Utilização de um eletrodo poroso percolado pulsado para a recuperação de prata em banhos fotográficos**. Universidade de Brasília; 2006.
- SEILNACHT, Thomas. **Kupfer-Raffination: zur Gewinnung von Reinkupfer**. 2010. Disponível em: <<http://www.seilnacht.com/Lexikon/kupfrac.html>>. Acesso em: 08 maio 2018.

- SELTEK, Stokkermill Recycling Machinery Co. **Riciclaggio schede PCB: Riciclaggio schede elettriche, schede elettroniche, circuiti stampati e schede madri**. 2015. Disponível em: <<https://www.stokkermill.com/it/macchine-riciclaggio/riciclaggio-schede-pcb/>>. Acesso em: 08 maio 2018.
- SHAH, Amol. **Different Types of Printed Circuit board Explained**. 2015. Disponível em: <<http://www.dnatechindia.com/pcb-printed-circuit-board-types.html>>. Acesso em: 08 maio 2018.
- SHENZHEN, Jaapson Technology Co. **PCB Manufacturing: How and why to plate copper onto PCBs?** 747. 2016. Disponível em: <<http://www.jps-pcb.com/blog/how-and-why-to-plate-copper-onto-pcb.html>>. Acesso em: 08 maio 2018.
- SILVAS, F. P. C. **Utilização de hidrometalurgia e biohidrometalurgia para reciclagem de placas de circuito impresso**. 2014. Universidade de São Paulo.
- UERJ, Telessaúde. Lixo Eletrônico: **O que ocorre quando o lixo eletrônico é dispensado em Aterros Sanitários?** 2014. Disponível em: <<http://www.telessaude.uerj.br/lixo/lixoeletronico>>. Acesso em: 08 maio 2018.
- VASCONCELOS, Yuri. Mineração com microrganismos: **Bactérias são usadas para recuperar metais valiosos de sucata de eletrônicos e rejeitos de minas**. Revista Pesquisa FAPESP, São Paulo, n. 214, p. 76-79, dez. 2013.