

ÁREA TEMÁTICA: Reciclagem

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO *DESIGN* NA DESMONTAGEM DE LÂMPADAS LED DO TIPO BULBO PARA POSTERIOR RECICLAGEM

Emanuele Caroline Araujo dos Santos (emanuelecarolinearaujo@gmail.com), Angéli Viviani Colling (collingangeli@yahoo.com.br), Aline Schaab (aline.schaab@hotmail.com), Carlos Alberto Mendes Moraes (cmoraes@unisinis.br)

Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

RESUMO

Lâmpadas e luminárias LED são classificadas como resíduos de logística reversa obrigatória pela Política Nacional de Resíduos Sólidos de 2010, pois se tratam de produtos eletroeletrônicos, devido a necessidade de uma placa de circuito impresso (PCI) para seu funcionamento. Somado a isso, apresentam materiais de valor agregado, em especial os LEDs que são compostos por metais críticos e valiosos. No entanto, a desmontagem e reciclagem deste tipo de resíduo é um desafio, pois apresentam uma variedade de materiais misturados em sua composição. Além disso, o *design* de produtos eletroeletrônicos em geral e, conseqüentemente, das lâmpadas LED, não facilita o processo de logística reversa dos mesmos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do *design* de lâmpadas LED do tipo bulbo na desmontagem deste produto ao seu fim de vida útil. Para isso, 13 lâmpadas LED de 8 marcas diferentes foram catalogadas e desmontadas, em que se avaliou a forma como se deu a desmontagem, as ferramentas utilizadas, bem como os destinos para cada parte da lâmpada. Por fim, pode-se constatar que em algumas lâmpadas existem tecnologias de desmontagem mais eficientes do que em outras e pode-se sugerir a adoção de uma montagem padrão, em que sistemas por roscas e parafusos seriam as mais indicadas para garantir a melhor agilidade do processo de desmontagem e reutilização e/ou reciclagem de grande parte das peças.

Palavras-chave: Lâmpadas LED; Desmontagem; Reciclagem.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF DESIGN IN THE DISASSEMBLY OF LED BULB TYPE LAMPS FOR POSTERIOR RECYCLING

ABSTRACT

LED lamps and luminaires are classified as mandatory reverse logistics waste by the 2010 National Solid Waste Policy, as they are electronics products, due to the need for a printed circuit board (PCI) for their operation. In addition, they present value-added materials, especially LEDs that are composed of critical and valuable metals. However, the disassembly and recycling of this type of waste is a challenge, as it presents a variety of materials mixed in its composition. In addition, the design of electronic products in general and, consequently, LED lamps, does not facilitate the reverse logistics process. The objective of this work was to evaluate the influence of the design of LED bulbs in the disassembly of this product at the end of its useful life. For this, 13 LED lamps from 8 different brands were cataloged and disassembled, where the way in which disassembly took place, the tools used, as well as the destinations for each part of the lamp were evaluated. Finally, it can be seen that in some lamps there are more efficient disassembly technologies than in others and it can be suggested the adoption of a standard assembly where systems by threads and screws would be the most indicated to guarantee the best agility of the process of disassembly and reuse and / or recycling of most parts.

Keywords: LED lamps; Disassembly; Recycling.

1. INTRODUÇÃO

Lâmpadas LED são definidas como produtos eletroeletrônicos de iluminação, elas são compostas por uma sequência de LEDs iguais, ligados em série ou paralelo, capazes de gerar um alto fluxo luminoso e luz visível, além disso, elas necessitam de um *driver* (fonte de energia) para seu funcionamento. Por serem consideradas substitutas diretas das incandescentes e fluorescentes, apresentam bases com roscas e soquetes idênticos as anteriores. (ABILUX, 2019; DIAS, 2012; HENDRICKSON et al. 2010; UNIÃO EUROPEIA, 2012). Devido a dependência de uma placa de circuito impresso (PCI), são classificadas como resíduos eletroeletrônicos (REEE) após seu fim de vida útil. (ABNT, 2013; XAVIER; CARVALHO, 2014). Portanto, sua logística reversa é obrigatória prevista pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituída pela Lei nº 12.305/10. (BRASIL, 2010).

Os REEE são caracterizados por apresentarem grande complexidade, devido à variedade de materiais constituintes como metais, polímeros, cerâmicos e materiais compósitos, muitos destes com alto valor agregado. (XAVIER; LINS; 2018; SILVEIRA, 2020). No entanto, estes resíduos possuem diversas substâncias tóxicas que podem causar a contaminação do meio ambiente ocasionando riscos à saúde humana, caso não sejam bem gerenciados. (KIDDEE, et al. 2013; SILVEIRA et al. 2020).

Os produtos de tecnologia LED seguem o mesmo caminho, apresentam uma natureza heterogênea e complexa, variando muito conforme a função do produto, isso se refletirá em todo o gerenciamento dele, principalmente no processamento e reciclagem. (FRAUNHOFER IZM, 2012; POURHOSSEIN; MOUSAVI, 2018). Além disso, de acordo com Gassmann et al. (2016), os LEDs são compostos por uma série de metais considerados críticos como, por exemplo: Lutécio (Lu) e Cério (Ce) que são terras raras, os metais tecnológicos Gálio (Ga) e Índio (In) e os preciosos ouro (Au) e prata (Ag). De acordo com Santos et al. (2020), a recuperação destes metais é um obstáculo a ser enfrentado durante a reciclagem dos LEDs, uma vez que se encontram no interior dele, encapsulados por outros materiais, que necessitam ser removidos primeiramente. No entanto, o crescimento da indústria de LEDs é promissora e, conseqüentemente, a demanda por materiais críticos e a necessidade de fontes alternativas também. (SANTOS et al., 2020).

A desmontagem é uma etapa muito importante no processo de reciclagem e logística reversa de qualquer resíduo de equipamento eletroeletrônico, pois é nesta etapa, geralmente manual, que ocorre a primeira triagem de materiais, em que pode-se separar componentes tóxicos, os de fácil separação e os de valor agregado. (GOUVEIA; FERRON; KUNO, 2014; MORAES; ESPINOSA; LUCENA, 2014; SILVEIRA; SANTOS; MORAES, 2019). Com isso, pode-se separar o equipamento em diversas partes, em que muitas destas são compostas por um único material, podendo ir diretamente para a reciclagem. (SILVEIRA; SANTOS; MORAES, 2019).

Santos et al. (2019) afirmam que a etapa de desmontagem e separação dos LEDs pode ser crucial para recuperação dos materiais críticos contidos neles, uma vez que desta forma pode-se concentrá-los melhor. Alguns elementos, em especial os críticos, estão em baixas concentrações (na faixa de μg) em produtos acabados, o que dificulta a detecção e quantificação, tornando um desafio a classificação e separação destes materiais ao fim de vida dos produtos. (BUCHERT; SCHULER; BLEHER, 2009; AYRES; PIERÓ, 2017; SANTOS et al., 2019).

Contudo, algumas dificuldades podem ser encontradas, como a diversidade de materiais em um mesmo componente e a complexidade dos mesmos, bem como o *design* da maioria dos equipamentos, que não é pensado para facilitar a sua desmontagem, tornando a etapa de separar cada parte do equipamento uma tarefa difícil e, conseqüentemente, um desafio para a reciclagem deste tipo de resíduo. (SILVEIRA; SANTOS; MORAES, 2019; TANSEL, 2017).

Uma simplificação do design de produtos eletroeletrônicos em geral aliada a uma automação do processo de desmontagem significaria benefícios em relação ao tempo e eficiência da desmontagem, e, portanto, a recuperação de materiais (SILVEIRA; SANTOS; MORAES, 2019; KNOTH et al., 2002), o que pode resultar em ganhos sociais, econômicos e ambientais.

Santos et al. (2019) encontrou diferença de design ao desmontar lâmpadas LED de marcas diferentes, o que acarretou diferenças na forma de desmontagem das lâmpadas. Além disso, algumas destas lâmpadas apresentavam maior dificuldade na desmontagem do que outras, desconectando-se facilmente, pois eram apenas encaixadas, outras apresentavam dificuldades devido ao uso de soldas e adesivos. Por fim, os autores sugeriram que se adotasse um padrão quanto a montagem destes equipamentos. (SANTOS et al., 2019). Gassmann et al. (2016) defendem que a diversidade e complexidade de geometria dessas lâmpadas deve ser prevista durante a logística reversa e que se deve criar módulos de classificação a fim de direcionar o fluxo do processo de reciclagem a ser utilizado.

No entanto, de acordo com Hendrickson et al. (2010), a padronização na conexão das peças seria um benefício para a desmontagem e remanufatura de seus componentes, além da diminuição da variedade de materiais em partes estruturais a fim de se obter uma melhor homogeneização, facilitando assim a reciclagem. Hendrickson et al. (2010) indicam que os fabricantes de lâmpadas LED devem atentar para projetos de *design* que visem opções de gerenciamento de fim de vida, citando: projetos que visem a desmontagem, utilizem parafusos ou encaixes ao invés de soldas, evitem destruição das peças; Projetos que visem na reutilização e manutenção, ou seja, uso de peças substituíveis; Projetos a fim de facilitar a recuperação de materiais, que utilizem o mínimo de variedade de materiais e facilitem a identificação deles; e Auxiliem na criação de sistemas de logística reversa.

O desenvolvimento de equipamentos com materiais de maior potencial de reciclagem bem como de desmontagem facilitada significa um considerável ganho no tempo de desmontagem, bem como facilitação na triagem e classificação dos materiais, com a consequente agregação de valor na reutilização de partes, recuperação e reciclagem de materiais, o que tem potencial para gerar empregos e renda. (XAVIER; CARVALHO, 2014).

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do *design* na desmontagem de lâmpadas LED do tipo bulbo visando a logística reversa.

3. METODOLOGIA

Foram adquiridas 13 lâmpadas LED do tipo bulbo de 8 marcas diferentes, com ano de comercialização entre 2015 e 2017. Optou-se por nomeá-las em códigos (Marca A, Marca B, Marca C, etc.) para preservar as marcas. As potências das lâmpadas foram variadas, estando na faixa de 4 a 9W. A primeira parte da catalogação das lâmpadas deu-se de maneira visual, onde se avaliou materiais que compõe a parte externa das lâmpadas como: o bulbo (polímero ou vidro), o material da base e o fundo do parafuso de Edison ou E27 (polímero ou vidro).

Após a etapa de catalogação, passou-se para etapa de desmontagem, em que se avaliou a forma de desmontagem das lâmpadas, bem como a melhor ordem de desmontagem e as ferramentas necessárias. Por fim fez-se uma avaliação das formas de desmontagem das lâmpadas e sugeriu-se os destinos a serem tomados para cada parte.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir os principais resultados deste trabalho serão apresentados.

4.1 Catalogação

O Quadro 1 apresenta a catalogação, potências, ano de comercialização, quantidades, massas por marca e materiais das partes: bulbo, base e fundo do parafuso E27 das lâmpadas estudadas. Além

disso, no Quadro 1 encontram-se também as potências equivalentes para lâmpadas fluorescentes compactas, indicadas nas embalagens das LEDs.

Quadro 1. Catalogação das lâmpadas LED estudadas

Lâmpada	Pot. (W)	Ano de Com.	Quant.	Massa média (g)	Bulbo	Base	Fundo parafuso E27
Marca A	9	2015	2	71,678	Polímero	Polímero	Polímero
Marca B	6	2017	1	63,376	Polímero	Polímero	Polímero
Marca C	4,8	2017	3	39,690	Polímero	Polímero	Polímero
Marca D	5	2017	3	31,122	Polímero	Polímero	Polímero
Marca E	9	2015	1	69,832	Polímero	Polímero	Polímero
Marca F	5	2017	1	36,850	Polímero	Polímero	Polímero
Marca G	4	2017	1	45,173	Polímero	Polímero	Polímero
Marca H	7	2017	1	50,009	Polímero	Polímero	Polímero

Fonte: Elaborado pela autora.

Pode-se observar no Quadro 1 que as massas das lâmpadas inteiras não são proporcionais às suas potências, pois a Marca G, de potência 4W, possui massa superior às Marcas C, D e F, de potências 4,8 e 5W, bem como a Marca C, de potência 4,8W, que possui massa superior à Marca D, de potência 5W, e a Marca B, de 6W, que possui massa superior a Marca H, de potência 7W.

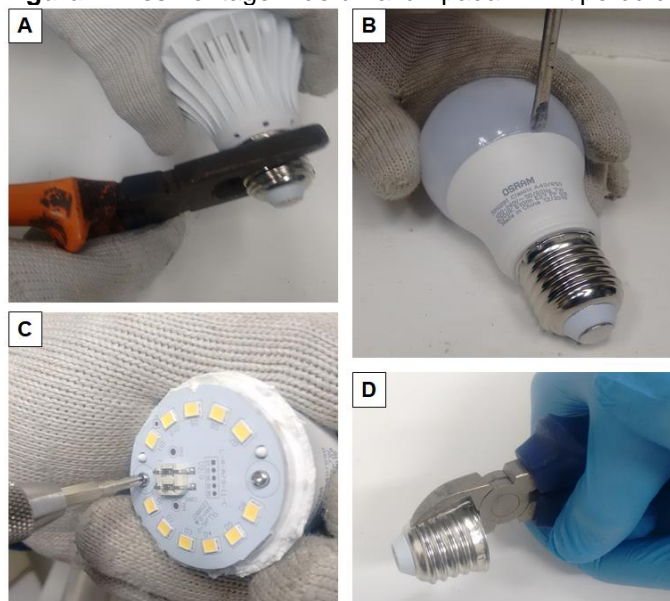
Um ponto importante registrado neste quadro é o fato de que as lâmpadas mais antigas, comercializadas em 2015, apresentam as maiores potências (9W) e massas, além disso, tiveram uma vida útil de apenas cerca de 2 anos, sendo que foram descartadas em 2017 e que suas embalagens indicam possuir vida útil de até 25000 horas, esse esgotamento só seria possível se as lâmpadas ficassem ligadas 24 horas por dia durante esses dois anos. Algumas embalagens indicam vida útil de até 14 anos, se considerar 5 horas de uso diário por 365 dias ano.

Todas as lâmpadas catalogadas apresentaram bulbo de polímero ao contrário das lâmpadas fluorescentes cujo bulbo é fabricado em vidro, o que é positivo, pois oferece menos risco de acidentes aos trabalhadores que irão manusear estes resíduos.

4.2 Desmontagem

Para a etapa de desmontagem verificou-se a como se daria a desmontagem bem como a ordem de retirada das principais peças constituintes, bem como as ferramentas necessárias. A Figura 1 ilustra como ocorreu esta etapa.

Figura 1. Desmontagem de uma lâmpada LED tipo bulbo

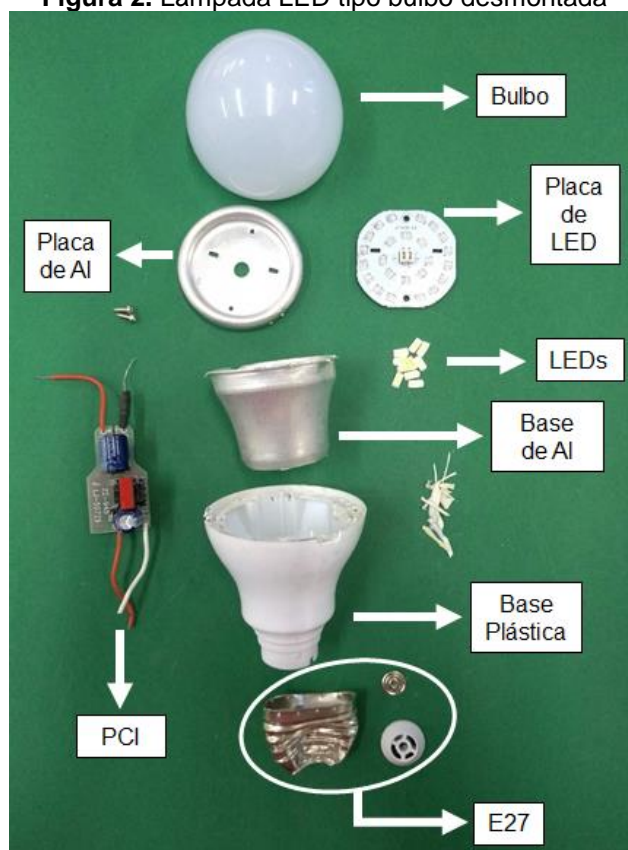


Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir da Figura 1 pode-se verificar que para a desmontagem de uma lâmpada LED do tipo bulbo pode-se utilizar ferramentas manuais como alicate (Figura 1A), chave de fenda (Figura 1B), chave *philips* (Figura 1C) e alicate de corte (Figura 1E). Além disso, pode-se verificar que a desmontagem pode começar pela retirada do bulbo polimérico da parte superior ou pela retirada do parafuso de E27 da parte inferior, após isso as demais partes podem ser retiradas, além disso, o E27 também pode ser desmontado.

Após a desmontagem, pode-se dividir as lâmpadas em até oito partes: bulbo, base de polímero, base de alumínio, placa de alumínio, placa de LEDs, PCI, LEDs e parafuso E27, além disso, em algumas lâmpadas pode-se encontrar parafusos e um adesivo utilizado para junção das partes. A Figura 2 apresenta uma lâmpada LED tipo bulbo desmontada.

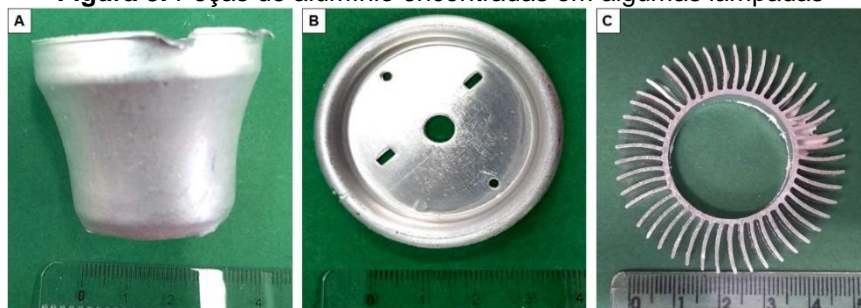
Figura 2. Lâmpada LED tipo bulbo desmontada



Fonte: Elaborado pelos autores.

Contudo, não houve padrão com relação a montagem das lâmpadas, ou seja, algumas lâmpadas não apresentavam base de alumínio ou placa de alumínio, já em outras encontrou-se uma peça composta por aletas, cujo formato pode-se inferir que se trata de um dissipador de calor. Por fim, em alguns casos nenhuma das três peças foram encontradas, por este motivo classificou-se estas partes como peças extra. De acordo com a literatura as lâmpadas LED necessitam de um dissipador de calor que pode ser de alumínio ou material cerâmico. (CASTRO, 2013; GASSMANN et al., 2016). A figura 3 ilustra as três peças de alumínio.

Figura 3. Peças de alumínio encontradas em algumas lâmpadas



Fonte: Elaborado pelos autores.

Com relação a forma de desmontagem também houve variações nas lâmpadas, algumas apresentaram maior dificuldade na desmontagem do que outras. No caso do bulbo, por exemplo, em algumas lâmpadas foi necessário o uso de chaves de fenda, enquanto outras precisavam apenas serem desrosqueadas manualmente. A Figura 4 ilustra as formas de retirada do bulbo

utilizadas, onde na Figura 4A ilustra-se a retirada por ajuda de chave de fenda e a Figura 4B ilustra a retirada manual dele.

Figura 4. Desmontagem do bulbo de lâmpadas LED tipo bulbo

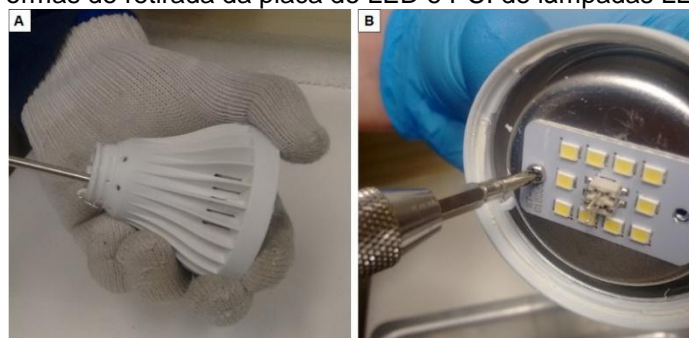


Fonte: Elaborado pelos autores.

Com a Figura 4 pode-se verificar a facilidade encontrada na desmontagem de algumas lâmpadas, onde uma leve força manual pode ser aplicada. Somado a isso em algumas lâmpadas encontrou-se um adesivo utilizado para fixação desta parte.

A Figura 5 ilustra a forma como se deu a retirada da PCI e da placa de LEDs do interior da lâmpada.

Figura 5. Formas de retirada da placa de LED e PCI de lâmpadas LED tipo bulbo



Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme a Figura 5A ilustra, em algumas lâmpadas a retirada da placa de LED e da PCI foi realizada pela parte inferior da lâmpada e por meio de força manual, ou seja, houve a necessidade de empurrá-las com força bruta. Já conforme ilustra a Figura 5B, algumas lâmpadas possuíam estas parte parafusadas, sendo necessário apenas desparafusá-las com o uso de chave do tipo *philips*. Além disso, a retirada da base externa polimérica também apresentou dificuldades em algumas lâmpadas, elas aparentavam estar injetadas às bases de alumínio, causando assim, a dificuldade na separação dela, em que muitas vezes quebravam no processo.

Encontrou-se também diferença na forma como a placa de circuito impresso estava conectada à placa de LEDs, enquanto algumas lâmpadas apresentavam as duas soldadas, outras possuíam um mecanismo de conexão mais moderno sendo apenas encaixadas, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6. Forma de desconexão de PCIs e placas de LED em lâmpadas LED tipo bulbo



Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme a Figura 6A ilustra, algumas lâmpadas apresentavam a existência de uma solda entre a PCI e a placa de circuito impresso, o que ocasionou a necessidade de uma etapa de dessoldagem. Já outras lâmpadas possuíam um mecanismo de conexão entre as duas, que facilitavam sua desmontagem e evitavam a necessidade do uso de equipamentos de dessoldagem, o que facilita a logística reversa.

O parafuso de Edison pode ser retirado das lâmpadas quase sem danificações, no entanto, como estes são conectados às lâmpadas por meio de pressão ao retirá-los eles eram amassados. Além disso, pôde ser dividido em três partes: corpo, pino e fundo. Esta subdivisão corrobora com o que foi estabelecido por Santos et al. (2013) e Santos et al. (2020), em que os autores também puderam dividir o E27 nestas mesmas três partes. A Figura 7 ilustra a desmontagem realizada pelos autores. Por fim, os LEDs foram separados das placas que os sustentam para balanço de massa. A desmontagem foi realizada de forma manual com a ajuda de um estilete, conforme pode ser visualizado pela Figura 8.

Figura 8. Retirada de LEDs



Fonte: Elaborado pelos autores.

A etapa de retirada dos LEDs foi considerada a etapa de maior dificuldade durante o processo de desmontagem das lâmpadas. Tal etapa necessitou de força manual e o uso de um equipamento cortante, o qual pode causar riscos ao trabalhador, além disso, os LEDs, em sua maioria, se quebravam durante a retirada.

4.3 Observações com relação ao *design* e desmontagem

O Quadro 2 apresenta as observações e sugestões apontadas após a desmontagem das lâmpadas.

Quadro 2. Observações e sugestões levantadas a partir da desmontagem de lâmpadas LED tipo bulbo

Parte	Observações	Destino
Bulbo	A forma de desconexão desta peça apresentou diferença entre algumas lâmpadas, além do uso de adesivo em alguns casos; sugere-se a adoção de montagem por rosca e a eliminação do uso de adesivo.	Reciclagem de polímeros.
Base polimérica	Sugere-se que a opção de conexão desta peça por meio de simples encaixe ou por parafusos pode facilitar a desmontagem.	Reciclagem de polímeros.
Base de alumínio	Esta parte da lâmpada pode ser retirada com maior facilidade e sem danificações; sugere-se a reutilização para o mesmo uso; ou que seja inserida diretamente no processo de reciclagem do alumínio.	Reciclagem do Al ou reutilização.
Placa de alumínio	Todas as observações e sugestões feitas para a base de alumínio podem ser aplicadas a ela.	Reciclagem do Al ou reutilização.
Placa de LED	Esta peça apresenta certa complexidade, pois além de possuir diversos LEDs sobre ela, apresenta também duas camadas de outros dois materiais; sugere-se uma melhor avaliação da composição dela; no entanto, esta parte poderia ser reaproveitada após um teste de funcionamento.	Necessita melhor avaliação ou reutilização
LEDs	Conforme a literatura os LEDs são compostos por uma série de materiais críticos e valiosos; no entanto ainda não existe uma tecnologia consolidada de recuperação de metais a partir dele.	Pesquisas via hidro, piro e biohidrometalurgia em andamento
PCI	Todas as PCIs são necessariamente ligadas às placas de LED e a forma como são conectadas variou conforme a marca da lâmpada; do ponto de vista de otimização do processo de desmontagem a tecnologia de conexão onde não se utilizava solda é a mais recomendada; esta parte da lâmpada também poderia ser reaproveitada após um teste de funcionamento.	Ciclo de reciclagem de REEE ou reutilização
E27	Esta parte da lâmpada poderia ser tranquilamente reutilizada para fabricação de novas lâmpadas ao se adotar uma montagem por rosca, evitando assim a danificação da peça; no caso da danificação da peça recomenda-se a desmontagem e reciclagem de cada parte.	Reutilização ou reciclagem de cada parte
Parafusos	Uso de parafusos em algumas lâmpadas pode ser visto de forma positiva trazendo maior agilidade na desmontagem das lâmpadas; esta peça pode ser considerada mais um elemento a se dar um destino, no entanto, poderia ser reutilizado.	Reutilização
Adesivo	Sugere-se que este material seja eliminado do processo de montagem das lâmpadas, uma vez que pode ser considerado uma contaminação dos materiais a serem reciclados; a adoção das técnicas de rosca e utilização dos parafusos poderia tranquilamente eliminá-lo.	No caso de não ser eliminado – destino aterro industrial

Fonte: Elaborado pelos autores.

5. CONCLUSÃO

Houve uma variação de *design* conforme a marca da lâmpada desmontada, no entanto algumas peças são necessárias para todas as lâmpadas como: bulbo, base, PCI, placa de LED e parafuso

E27. As demais peças podem ser consideradas extra, no entanto, infere-se que tais partes são utilizadas para arrefecimento das lâmpadas e melhoria da montagem das mesmas.

O uso de técnicas de montagem que utilizem roscas e parafuso em algumas conexões de peças pode significar a otimização do processo de desmontagem bem como de logística reversa, além da eliminação do adesivo que pode ser considerado uma contaminação aos materiais a serem reciclados. Além disso, pode-se observar a possibilidade da reutilização de algumas peças na fabricação de novas lâmpadas de mesmo modelo e potência, o que pode representar em até 66,7% das partes, considerando uma lâmpada com todas as partes indicadas para reutilização.

Por fim, tais melhorias e adaptações podem significar um avanço no processo de reciclagem de lâmpadas e LED e vai ao encontro com conceitos de economia circular.

1. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO (ABILUX). **Guia LED descomplicado**. 2019. Disponível em: < https://abilux.com.br/docs/Abilux_Guia-LED-descomplicado.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2019.

DIAS, M. P. **Avaliação do Emprego de Um Pré-Regulador Boost de Baixa Frequência do Acionamento de Leds de Iluminação**. 2012. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, MG, 2012.

HENDRICKSON, C. T.; MATTHEWS, D. H.; ASHE, M.; JARAMILLO, P.; MCMICHAEL, F. C. **Reducing environmental burdens of solid-state lighting through end-of-life design**. Environmental Research Letters. v. 5, 2010.

Directive 2012/19/UE of the European Parliament and of the Council. Of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). Official Journal L 197, p. 59, 2012. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2012:197:FULL&from=PT>. Acesso em: 23 jul. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16156**: Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos — Requisitos para atividade de manufatura reversa. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 14 julho 2019.

XAVIER, L. H.; LINS, F. A. **Mineração Urbana de resíduos eletroeletrônicos: uma nova fronteira a explorar no Brasil**. Brasil Mineral. n.379, p. 22-26, 2018.

SILVEIRA, T. A.; SANTOS E. C. A.; COLLING, A. V.; MORAES, C. A. M.; BREHM, F. A. **E-waste Management and the Conservation of Geochemical Scarce Resources**. In: KHAN, A.; INAMUDDIN; ASIRI, A. M. (Eds). E-waste Recycling and Management – Present Scenarios and Environmental Issues. 1 Ed. Springer Nature Switzerland AG. p. 179-200, 2020.

KIDDEE, P. NAIDU, R. WONG, M. H. **Electronic Waste Management Approaches: An Overview**. Waste Management. v. 33. p. 1237 – 1250. 2013.

GASSMANN, A. ZIMMERMANN, J.; GAUß, R. STAUBER, R. GUTFLEISCH, O. **LED lamps recycling technology for a circular economy**. Latest LPR Magazine. n. 25 de ago, 2016. Disponível em: < <https://www.led-professional.com/resources-1/articles/led-lamps-recycling-technology-for-a-circular-economy>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

POURHOSSEIN, F.; MOUSAVI, S. M. **Enhancement of copper, nickel, and gallium recovery from LED waste by adaptation of Acidithiobacillus ferrooxidans**. Waste Management. v. 79, p. 98-108, 2018.

SANTOS E. C. A.; SILVEIRA, T. A.; COLLING, A. V.; MORAES, C. A. M.; BREHM, F. A. **Recycling Processes for the Recovery of Metal from E-waste of the LED Industry**. In: KHAN, A.; INAMUDDIN; ASIRI, A. M. (Eds). E-waste Recycling and Management – Present Scenarios and Environmental Issues. 1 Ed. Springer Nature Switzerland AG. p. 159-177, 2020.

Fraunhofer IZM. **Project: Cycling resources embedded in systems containing Light Emitting Diodes**. Fraunhofer Institute. Germany, 2012. Disponível em:< <http://www.cyc-led.eu/?LMCL=NcYj0n>>. Acesso em: 15 set. 2019.

GOUVEIA, N.; FERRON, M. M.; KUNO, R. **Os impactos dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos na saúde.** In: CARVALHO, T. C. M. B.; XAVIER, L.H. (Org.). *Gestão de Resíduos eletroeletrônicos – uma abordagem prática para a sustentabilidade.* 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. p. 129-148.

MORAES, V. T.; ESPINOSA, D. C. R.; LUCENA, L. L. **Tecnologias de tratamento para resíduos de equipamentos eletroeletrônicos.** In: CARVALHO, T. C. M. B.; XAVIER, L.H. (Org.). *Gestão de Resíduos eletroeletrônicos – uma abordagem prática para a sustentabilidade.* 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. p. 113-128.

SILVEIRA, T. A.; SANTOS, E. C. A.; MORAES, C. A. M. **O Ecodesign e a Geração de Resíduos: Uma Abordagem Sobre os Eletroeletrônicos.** In: AGUILERA, J. G.; ZUFFO, A. M. (Org.). *A Preservação do Meio Ambiente e o Desenvolvimento Sustentável 2.* Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. E-book. Disponível em: < <https://www.atenaeditora.com.br/wp-content/uploads/2019/08/Ebook-A-Preservacao-do-Meio-Ambiente-e-o-Desenvolvimento-Sustentavel-2-1.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

SANTOS, E. C. A.; CAMACHO, A. L. D.; RAUBER, L. D.; MORAES, C. A. M. **Desmontagem e caracterização de Lâmpadas LED para Recuperação de Materiais.** In: TULLIO, L. (Org.). *Gestão de Resíduos Sólidos 2.* Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. E-book. Disponível em: < <https://www.atenaeditora.com.br/wp-content/uploads/2019/03/E-book-Gest%C3%A3o-de-Res%C3%ADduos-S%C3%B3lidos-2-2.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

BUCHERT, M.; SCHULER, D.; BLEHER, D. **Critical Metals for Future Sustainable**

TANSEL, B. **From electronic consumer products to e-waste: Global outlook, waste quantities, recycling challenges.** *Environment International.* n. 98, 35-45, 2017.

KNOTH, R.; BRANDSTOTTER, M.; KOPACEK, B.; KOPACEK, P. **Automated disassembly of electr(on)ic equipment.** In: *Conference Record 2002 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, San Francisco, CA, USA, 2002.*

AYRES, R. U.; PIERÓ, L. T. **Material Efficiency: Rare And Critical Metals.** The Royal Society Publishing. Fontainebleau, France, janeiro, 2017.