

BENEFICIAMENTO DE LÂMPADAS LED INSERVÍVEIS EM UMA COOPERATIVA DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

IMPROVEMENT OF UNUSABLE LED LAMPS IN AN ELECTRONIC WASTE RECYCLING COOPERATIVE

EMANUELE CAROLINE ARAUJO DOS SANTOS, MSc. | UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS

JOSÉ LUÍS CARDOSO DA SILVA | COOPERATIVA PAULO FREIRE

DAIANE CALHEIRO EVALDT, Dra. | UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS

CARLOS ALBERTO MENDES MORAES, PhD. | UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS

RESUMO

Lâmpadas e luminária LED são consideradas equipamentos eletroeletrônicos e por isso, quando inseríveis, devem entrar diretamente no ciclo de reciclagem de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos - REEE. Porém sua natureza heterogênea pode dificultar o gerenciamento delas. Neste contexto o desenvolvimento de uma metodologia de desmontagem, bem como a valorização destes resíduos e dos materiais que a compõe pode trazer benefícios econômicos e ambientais. As cooperativas de reciclagem têm desempenhado um papel importante na logística reversa de diversos materiais, mas principalmente em questões econômicas e sociais. O objetivo deste trabalho foi desenvolver, em parceria com uma cooperativa, uma metodologia de desmontagem de lâmpadas LED, bem como rentabilizar esse resíduo para a cooperativa. Com isso, realizou-se visitas em uma cooperativa, e com informações obtidas e a desmontagem de 116 lâmpadas pode-se desenvolver um passo-a-passo de desmontagem destas lâmpadas, e iniciou-se a conscientização da população. Além disso, elaborou-se um layout de uma bancada de trabalho e determinou-se os materiais com possível comercialização para a cooperativa, bem como a possível rentabilidade. Os resultados encontrados demonstram a possibilidade de geração de renda e valorização dos materiais presentes através da desmontagem completa e reciclagem deste tipo de lâmpada.

PALAVRAS CHAVE

Economia circular; Lâmpadas LED; Cooperativa de recicláveis; REEE.

ABSTRACT

LED lamps and luminaires are considered electronic equipment and therefore, when inserted, they must enter directly into the recycling cycle of electronic equipment waste - WEEE. However, their heterogeneous nature can make them difficult to manage. In this context, the development of a disassembly methodology, as well as the valorization of these residues and the materials that compose it, can bring economic and environmental benefits. Recycling cooperatives have played an important role in the reverse logistics of various materials, but mainly in economic and social issues. The objective of this work was to develop, in partnership with a cooperative, a methodology for dismantling LED lamps, as well as making this waste profitable for the cooperative. With this, visits were made to a cooperative, and with information obtained and the disassembly of 116 lamps, a step-by-step disassembly of these lamps could be developed, and the population's awareness began. In addition, a layout of a work bench was elaborated and the materials with possible commercialization for the cooperative were determined, as well as the possible profitability. The results found demonstrate the possibility of generating income and valuing the materials present through the complete disassembly and recycling of this type of lamp.

KEY WORDS

Circular economy; LED lamps; Recyclable cooperative; WEEE.



1. INTRODUÇÃO

As lâmpadas e luminárias LED vem rapidamente dominando o mercado de iluminação nesta última década, devido a algumas vantagens oferecidas como: menor consumo de energia, vida útil mais longa e não possuir mercúrio em sua composição. No entanto, tais equipamentos ainda são um desafio para a reciclagem de todos os seus componentes e materiais.

Os principais problemas encontrados são a falta de informação e educação da população, a falta de preocupação com a gestão e o gerenciamento destes resíduos por parte da sociedade e a dificuldade de desmontagem de alguns equipamentos. Contudo, tais equipamentos apresentam materiais de alto valor agregado e sua reciclagem completa é importante do ponto de vista da mineração urbana e da economia circular.

As cooperativas de reciclagem desempenham um papel muito importante para a economia circular deste resíduo, pois podem passar a recebê-los e desmontá-los completamente, além de dar destino correto a todos os materiais envolvidos.

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver e avaliar em parceria com uma cooperativa de reciclagem de REEE a possibilidade de viabilizar a logística reversa das lâmpadas LED pós-consumo como um resíduo rentável, simplificando sua desmontagem e determinando as principais partes e materiais a serem comercializados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dispositivos de iluminação são citados como exemplo de equipamentos eletroeletrônicos (EEE) pela norma ABNT NBR 16156:2013 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e pela diretiva europeia 2012/19/EU, anexo IV, como equipamentos eletroeletrônicos de iluminação. (UNIÃO EUROPEIA, 2012, p. 59; ABNT, 2013). Os EEE caracterizam-se por dependerem de corrente elétrica ou campo eletromagnético para seu funcionamento, bem como de uma placa de circuito impresso. (ABNT, 2013; XAVIER; CARVALHO, 2014).

Consequentemente, resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) são os aparelhos que foram descartados em seu fim de vida e que não possuem oportunidade de reutilização. (IŞILDAR *et al.*, 2019). Os REEE estão entre os resíduos de logística reversa obrigatória previstos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/2010. (BRASIL, 2010).

De acordo com Nicolai (2016), os REEE são os resíduos que mais crescem no Brasil e no mundo, devido a obsolescência programada, e podem conter mais de 100 substâncias que podem ser tóxicas aos seres vivos e ao meio ambiente. Devido a isso, este resíduo pode ser considerado como um desafio. (PRADIHAN, 2013; XAVIER *et al.*, 2020).

De acordo com o relatório do *Global E-waste Monitor*

2017, realizado pela *United Nations University* (UNU) em parceria com a *International Telecommunication Union* (ITU) e a *International Solid Waste Association* (ISWA), em 2016 o mundo gerou cerca de 44,7Mt de REEE, significando uma geração per capita de 6,1kg/hab e para este ano (2021) estima-se que esta geração possa chegar a 52,2Mt (6,8kg/hab). (BALDÉ *et al.*, 2017; XAVIER; LINS, 2018).

Já o Brasil, estima-se que gerou cerca de 1,5Mt de REEE no ano de 2016, significando uma geração per capita de 7,4kg/hab, tornando-se o segundo maior gerador deste resíduo nas américas, ficando atrás somente dos EUA, e atingindo a 7ª posição mundial no ranking de volumes gerados, sendo responsável por 3,4% do total mundial. (BALDÉ *et al.*, 2017; XAVIER; LINS, 2018).

Embora apresentem elementos tóxicos, os REEE também apresentam materiais de grande valor econômico, como o ouro, prata, cobre e platina, por exemplo, além de metais em maior volume e de valor como ferro e alumínio, com isso, podem ser considerados como um minério secundário, e em alguns casos apresentam maiores teores de metais preciosos do que o próprio minério de origem. (BALDÉ *et al.*, 2017; NICOLAI, 2016; PRADIHAN, 2013; XAVIER *et al.*, 2020). Por isso, sua reciclagem é importante econômica e ambientalmente. (PRADIHAN, 2013; POURHOSSEIN; MOUSAVI, 2018).

Os LEDs são um exemplo disso, pois apresentam concentrações de alguns metais superiores às encontradas em minérios naturais, como por exemplo de ouro, prata, cobre, alumínio, estanho e gálio. (CENCI, *et al.*, 2020). De acordo com Cenci *et al.* (2020) ao se reciclar lâmpadas LED tubulares e do tipo bulbo o retorno econômico pode ser de US \$ 2.405,99 e US \$ 2.595,02 por tonelada, respectivamente.

Como as lâmpadas LED inservíveis são classificadas como REEE, presume-se que essas lâmpadas deverão ser inseridas diretamente no fluxo de logística reversa destes. (POURHOSSEIN; MOUSAVI, 2018). Contudo, devido a sua natureza heterogênea e complexa, variando muito conforme a função do produto, isso se refletirá em todo o gerenciamento deste resíduo, principalmente no processamento e reciclagem. (FRAUNHOFER IZM, 2012; POURHOSSEIN; MOUSAVI, 2018).

Uma etapa muito importante para o processo de reciclagem, logística reversa e principalmente valorização de todos os materiais de um REEE é a desmontagem. Pois esta etapa, geralmente manual, possibilita uma triagem dos principais componentes do equipamento, onde pode-se separar os materiais tóxicos, os de fácil separação e os de alto valor agregado. (KNOTH *et al.*, 2002; GOUVEIA; FERRON; KUNO, 2014; MORAES; ESPINOSA; LUCENA, 2014; SILVEIRA; SANTOS; MORAES, 2019).

Os equipamentos podem ser separados em diversas partes, onde muitas destas são compostas por um único material e podem ser encaminhadas diretamente para reciclagem. (SILVEIRA; SANTOS; MORAES, 2019; SANTOS

et al., 2020). Além disso, pode-se encontrar componentes em boa qualidade que poderiam ser reutilizados, indo ao encontro com os preceitos da economia circular. (SANTOS *et al.*, 2020). De acordo com Santos *et al.* (2020), 66,7% das partes de uma lâmpada LED do tipo bulbo poderiam ser reutilizadas para a fabricação de novas lâmpadas de mesmo modelo.

No entanto, existem alguns desafios a serem enfrentados, como a diversidade de materiais em um mesmo componente, tornando-os complexos em termos de separação e trabalhabilidade. Além disso, o design da maioria dos equipamentos eletroeletrônicos que não é projetado para facilitar a desmontagem e consequente reciclagem dos mesmos, torna esta etapa um desafio. (SILVEIRA; SANTOS; MORAES, 2019; TANSEL, 2017; SANTOS *et al.*, 2020).

Santos *et al.* (2020) apontam que há variedades no design de lâmpadas LED, conforme a marca do produto, o que dificulta o aperfeiçoamento de um procedimento padrão de desmontagem, bem como o desenvolvimento de um processo automatizado.

A simplificação do design de produtos eletroeletrônicos aliada a uma automação do processo de desmontagem pode significar benefícios em relação ao tempo e eficiência desta etapa, e, portanto, a recuperação de materiais (SILVEIRA; SANTOS; MORAES, 2019; KNOTH *et al.*, 2002; TANSEL, 2017), o que pode resultar em ganhos sociais, econômicos e ambientais.

De acordo com Xavier *et al.* (2020) existem dois tipos de desmontagem que podem ser abordadas para REEE, com o intuito de compactação e destinação ambientalmente correta. Uma delas é a destrutiva que despreza a importância de se preservar peças e componentes, bem como da segregação de materiais. (XAVIER *et al.*, 2020).

Já a desmontagem não-destrutiva tem por objetivo preservar materiais e componentes, por isso, utiliza técnicas inversas a montagem, esta metodologia é considerada mais minuciosa e eficaz, pois utiliza segregação visual primeiramente e conta com a experiência do trabalhador. (XAVIER *et al.*, 2020).

De acordo com Xavier *et al.* (2020), para se adotar uma técnica de desmontagem não-destrutiva em um REEE alguns critérios devem ser observados:

- Categoria do REEE: como cada tipo de equipamento apresenta diferenças em relação a metodologia de desmontagem e ferramentas utilizadas, separá-los em categorias otimiza o processo de reciclagem.
- Ambiente de desmontagem: é importante garantir um ambiente de trabalho adequado ao trabalhador, visando sua segurança e produtividade. Com isso, o ambiente deve ser fechado, bem iluminado, bem ventilado, com uma mesa alongada, arejada, entre outros requisitos.
- Ferramentas: cada equipamento demanda

ferramentas específicas, mas sugere-se o uso de chaves de fendas de diferentes tamanhos, alicates, chaves *Philips*, estilete e balança.

- Condições para o trabalhador: para segurança do trabalhador é indicado o uso de equipamentos de proteção individual (EPIs). Indica-se o uso de óculos de proteção, luvas, máscaras, calça comprida e sapatos fechados.

Outros pontos que podem ser observados são quanto a capacitação dos trabalhadores de desmontagem de REEE, o tempo de desmontagem a fim de garantir maior produtividade e retorno econômico e a existência de mercado para todas as partes do equipamento.

Os LEDs atualmente não possuem mercado de venda, para recuperação de seus materiais, no entanto, de acordo com Cenci *et al.* (2020), são os componentes mais valiosos de lâmpadas LED e o ouro é o material mais valioso em seu interior.

Neste contexto, as cooperativas de recicláveis possuem um papel muito importante tanto do ponto de vista econômico, quanto ambiental e social atrelado a logística reversa e sustentabilidade de diversos resíduos, uma vez que contribuem para o correto descarte de resíduos e, consequente minimização de impactos ambientais e melhoram e oferecem uma opção de trabalho e renda digna para diversas famílias, significando uma melhor distribuição de renda na sociedade. (ESTEVES, 2015; MORIGI, 2018).

De acordo com Esteves (2015), os benefícios destas organizações podem ser os seguintes:

- A geração de emprego e renda;
- Resgate da cidadania dos catadores/cooperados;
- Retirada de catadores das ruas, dos lixões e de diversas situações insalubres;
- Organização do trabalho dos catadores nas ruas evitando os problemas na coleta do resíduo e o armazenamento de materiais recicláveis em logradouros públicos;
- Redução das despesas com programas de coleta seletiva nas instituições, públicas e privadas;
- Redução das despesas com coleta, transferência e disposição final de resíduos separados pelos catadores e que não serão encaminhados ao local de disposição final;
- Contribuição à saúde pública e ao sistema de saneamento;
- Fornecimento de material reciclável de baixo custo à indústria;
- Redução nos gastos municipais e a contribuição à sustentabilidade do meio ambiente, tanto pela diminuição da matéria-prima utilizada, que conserva recursos e energia, tanto pela diminuição da necessidade de terrenos a serem utilizados como lixões e aterros sanitários.

3. METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo deste trabalho realizou-se visitas técnicas à Cooperativa Paulo Freire, localizada em Porto Alegre, para conhecimento do espaço e conversas com o responsável pela cooperativa a fim de se obter informações sobre sua gestão, processos de beneficiamento, espaço físico, e potencial de comercialização de recicláveis.

Para implementação da metodologia de valorização e possível comercialização dos materiais das lâmpadas LED realizou-se a seguinte ordem de procedimentos: primeiramente foram desmontadas 116 lâmpadas LED do tipo bulbo em laboratório (no Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais, localizado na Unisinos), a fim de se desenvolver uma metodologia de desmontagem, bem como definir as ferramentas necessárias para o processo, e os materiais que as compõem. Com isso, pode-se elaborar um passo-a-passo da desmontagem das lâmpadas, e um layout de uma bancada de trabalho. Além disso, também verificou-se quais materiais são passíveis de comercialização e geração de renda para a cooperativa e quais ainda serão tratados como rejeitos ou necessitam de outros métodos de beneficiamento para sua valorização. Após isso, estimou-se o retorno financeiro que este processo pode dar a cooperativa e propor a realização de capacitação e sensibilização ambiental do pessoal.

4. RESULTADOS

A seguir apresentam-se os resultados obtidos neste trabalho.

4.1. Visitas e entrevista

A Cooperativa Paulo Freire foi oficialmente fundada em março de 2014, fazendo parte de um dos objetivos do Projeto Cooperação Produzindo em Rede, em que a Fundação Solidariedade participou em 2013. A ideia foi juntar cinco coletivos de trabalhadores em quatro comunidades diferentes. No entanto, o trabalho com pessoas em situação de vulnerabilidade, moradores de rua e albergue começou alguns anos antes, por volta de 2008.

Em 2012, a Fundação Solidariedade, a Secretaria do Trabalho e o Senac ofereceram oficinas sobre formas de renda e trabalho para estas pessoas, dentre as oficinas houve os cursos de Produtos recicláveis e de Reciclagem material eletrônico que deram origem ao grupo de trabalho da Paulo Freire.

Em 2021, a cooperativa conta com 5 colaboradores, no entanto, existem condições de inserir mais trabalhadores, no que diz respeito a material recebido. Estima-se que cada trabalhador pode beneficiar até 1,5 toneladas de material reciclado por mês e com 6 trabalhadores e uma jornada de 5 horas/dia se poderia chegar a reciclar 9 toneladas/mês. A renda média do último foi de cerca de R\$1.000,00 por trabalhador.

Após uma certa quantidade de sedes temporárias, recentemente a cooperativa reiniciou suas atividades em um novo local mais espaçoso, com uma área de 50m², onde está se organizando. A Figura 1 apresenta algumas imagens do local.

A Figura 2 apresenta uma planta conceitual elaborada pelo grupo de pesquisa NucMat a qual este trabalho está inserido e que está servindo de base pela cooperativa para adequar o novo espaço.

Com a Figura 2 pode-se observar que a cooperativa pretende contar com uma sala de capacitação, que poderá ser usada para os treinamentos que irão ser ministrados aos trabalhadores, uma área de desmontagem, em que a bancada de desmontagem para lâmpadas LED será montada, além de salas de valorização de materiais, manutenção e expedição.

Após entrevista com o líder da cooperativa obteve-se as seguintes informações:

- A cooperativa já tem recebido algumas lâmpadas LED, porém em pouca quantidade, pois o público em geral ainda não identifica esta como REEE, mas identifica como reciclável já que tem sido observado grande quantidade deste resíduo em cooperativa de triagem de



Figura 1: Imagens do interior do novo prédio da cooperativa.
Fonte: Autores.

resíduos sólidos urbanos (RSU) da coleta seletiva;

- As lâmpadas estão sendo armazenadas em uma caixa, tendo cerca de 15 até o momento;

- A percepção deles é de que a maioria das pessoas não sabem que lâmpadas LED podem ser descartadas como resíduos eletroeletrônico e recicláveis;

- Além das lâmpadas LEDs, muitas vezes acabam vindo algumas fluorescentes e incandescentes junto;

- Eles ainda não tentaram desmontar nenhuma lâmpada LED.

As demais questões sobre comercialização de materiais e preços serão abordadas no decorrer do trabalho.

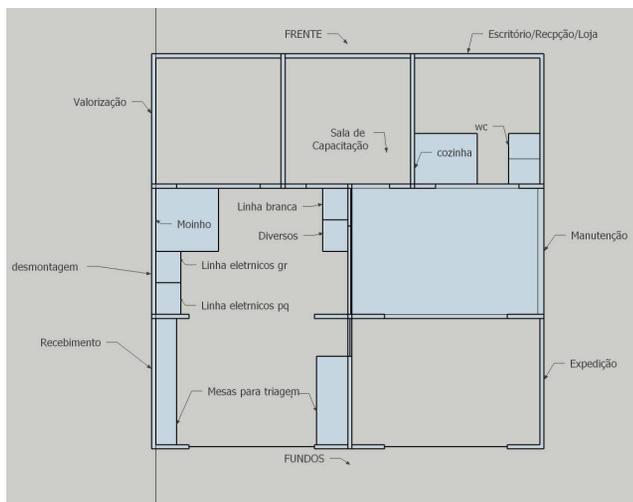


Figura 2: Imagens do interior do novo prédio da cooperativa.

Fonte: Autores.

A Figura 3 apresenta como estão sendo armazenadas as lâmpadas LED recebidas pela cooperativa.



Figura 3: Imagens do interior do novo prédio da cooperativa.

Fonte: Autores.

Após essa primeira entrevista percebeu-se a necessidade de informar e conscientizar a população de que lâmpadas LED podem ser descartadas como REEE, e que não devem ser misturadas às lâmpadas fluorescentes, pois estas enquanto resíduos precisam ser primeiramente beneficiadas para remoção de mercúrio ou destinadas a aterro de resíduos perigosos. Além disso, também informar a população de que a cooperativa pode receber lâmpadas LED.

Diante disso, elaborou-se um cartaz informativo em formato A3 (vide Figura 4) que passou a ser fixado juntamente com os ecopontos da cooperativa (vide Figura 5) a partir de novembro/2020 na cidade de Porto Alegre. O mesmo também está sendo repassado para cooperativas de Triagem de Resíduos Recicláveis da Coleta Seletiva.



Figura 4: Cartaz elaborado para informação e conscientização da população.

Fonte: Autores.



Figura 5: Ecopontos da cooperativa com cartaz de conscientização sobre lâmpadas LED e fluorescentes - Feiras de Produtos Orgânicos.

Fonte: Autores.

4.2 Desmontagem

A desmontagem das 116 lâmpadas foi realizada conforme metodologia já mencionada em trabalhos anteriores. (SANTOS *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2020). A Figura 6 ilustra como foi realizada a desmontagem das lâmpadas.

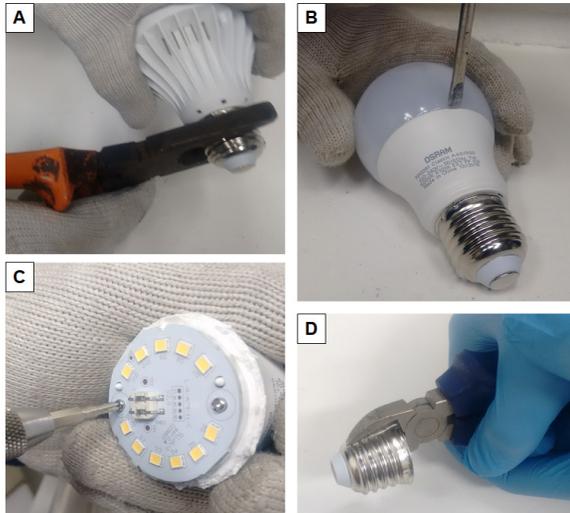


Figura 6: Desmontagem de uma lâmpada LED tipo bulbo.
Fonte: Santos *et al.* (2020).

Conforme a Figura 6 ilustra, para a desmontagem deste tipo de lâmpada foram necessárias apenas ferramentas manuais e de simples manuseio, como chaves de fenda *Philips* e alicates. Além disso, de acordo com Santos *et al.* (2020), em alguns casos algumas partes podem ser retiradas manualmente. Além das ferramentas necessárias para a desmontagem sugere-se também a adoção de equipamentos de proteção individual (EPI) que devem ser tomados como obrigatórios para o procedimento, sendo eles luva de vaqueta e óculos de proteção, uma vez que existe o risco de corte nas mãos e nos olhos por ferramentas ou partes das lâmpadas.

Com isso, pode-se definir como ferramentas e EPIs básicos necessários para a desmontagem de lâmpadas LED tipo bulbo os seguintes:

- Chave de fenda;
- Chave *Philips*;
- Alicate normal;
- Alicate de corte;
- Luva de vaqueta;
- Óculos de proteção.

Já com relação a metodologia/passo-a-passo da desmontagem concluiu-se que a desmontagem das lâmpadas pode começar tanto pela retirada do bulbo, quanto pela retirada do parafuso E27, no entanto a placa de LEDs e a placa de circuito impresso (PCI) só podem ser retiradas após o bulbo, por isso recomenda-se retirá-lo primeiro.

Esta peça foi mencionada por Santos *et al.* (2020), em que se percebeu que para algumas lâmpadas a retirada era mais fácil (manual), já em outras necessitava da ajuda de uma chave de fenda e força.

Após a retirada do bulbo, a placa de LEDs pode ser removida com ajuda de uma chave *Philips* ou em alguns casos necessitará de força manual e a retirada pela parte de baixo, após o E27 ser retirado. (SANTOS *et al.*, 2020). Já a PCI vem ligada a placa de LEDs de alguma forma, em alguns casos elas estão conectadas por um sistema de “pinos” e podem ser apenas desconectadas, já em outros estão soldadas, necessitando o corte dos fios soldados ou a dessoldagem deles. Além disso, juntamente com a placa de LEDs pode vir uma placa de alumínio. Tal peça necessita ser desaparafusada da mesma e retirada da lâmpada com a ajuda de uma chave de fenda, conforme ilustra a Figura 7.

Após a retirada destas peças restará a base de polímero, esta peça serve como uma capa para a PCI e placa de LEDs e pode apresentar em seu interior mais uma base de alumínio no mesmo formato. A Figura 8 ilustra estas duas peças.

Por fim, o parafuso E27 pode ser retirado com o uso de um alicate e facilmente desmontado com o uso de um alicate de corte e força manual, resultando em 3 partes. (Santos *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2020). A Figura 9 ilustra as partes desta peça.

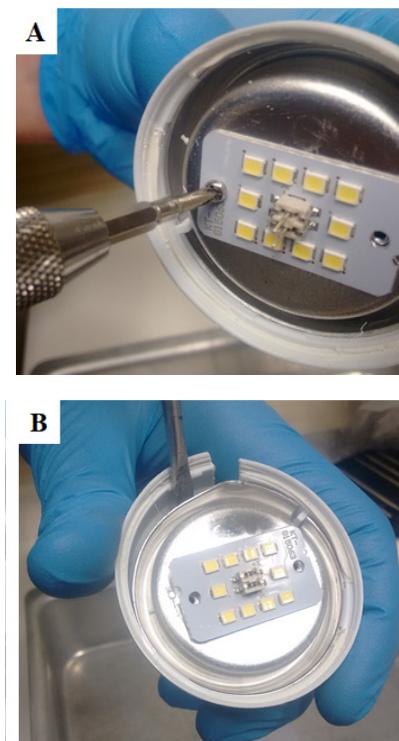


Figura 7: Desmontagem da placa de alumínio (A: retirada da placa de LEDs; B: retirada da lâmpada).
Fonte: Autores.

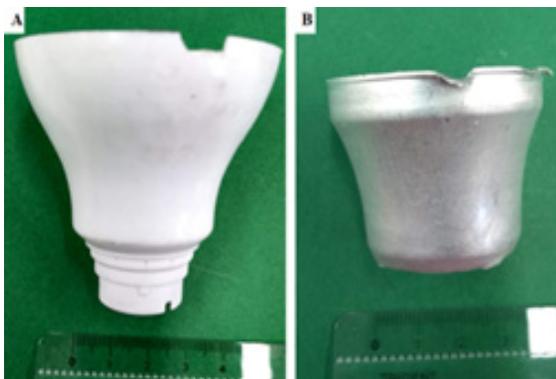


Figura 8: Base de polímero e base interior de alumínio (A: base de polímero; B: base de Al).

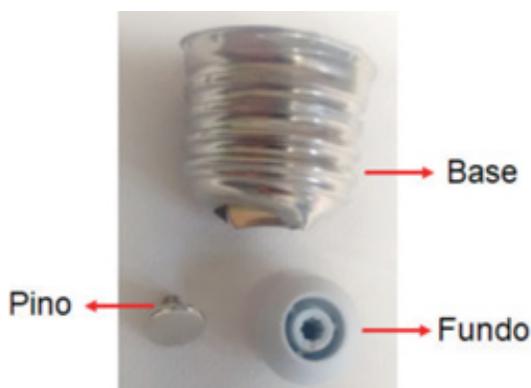


Figura 9: Parafuso de E27 desmontado.
Fonte: Santos et al (2019).

Diante do exposto, verificou-se que uma lâmpada LED tipo bulbo comum é constituída por cinco peças básicas, sendo elas: bulbo, placa de polímero, placa de LEDs, PCI e parafuso E27. Pode apresentar peças extra como a base de liga alumínio, e placa de liga de alumínio. Além disso, encontrou-se parafusos, fios e em algumas lâmpadas adesivo. A Figura 10 ilustra todas as partes constituintes.

Cenci *et al.* (2020) dividiram lâmpadas LED do tipo bulbo e tubulares em quatro partes, sendo elas carcaça, LEDs, placa de circuito impresso e módulo de LED. Com isso, eles consideram todas as outras partes como placa de liga de alumínio, base de liga de alumínio e parafuso E27 como carcaças juntamente com os polímeros. No entanto, para a realidade de uma cooperativa, onde existe comércio para polímeros e alumínio é mais interessante separar tais peças durante a classificação. De acordo com Rebelo *et al.* (2018), uma etapa de pré-tratamento, onde os polímeros são retirados manualmente e encaminhados para reciclagem possibilita a valorização da porção metálica.

A Figura 11 apresenta um fluxograma da possível destinação de cada parte da lâmpada.

Após conversa com o líder da cooperativa, pode-se ter uma ideia de quais peças das lâmpadas teriam chance de serem comercializadas, bem como cada uma poderia ser vendida. De acordo com as informações recebidas, constatou-se que:

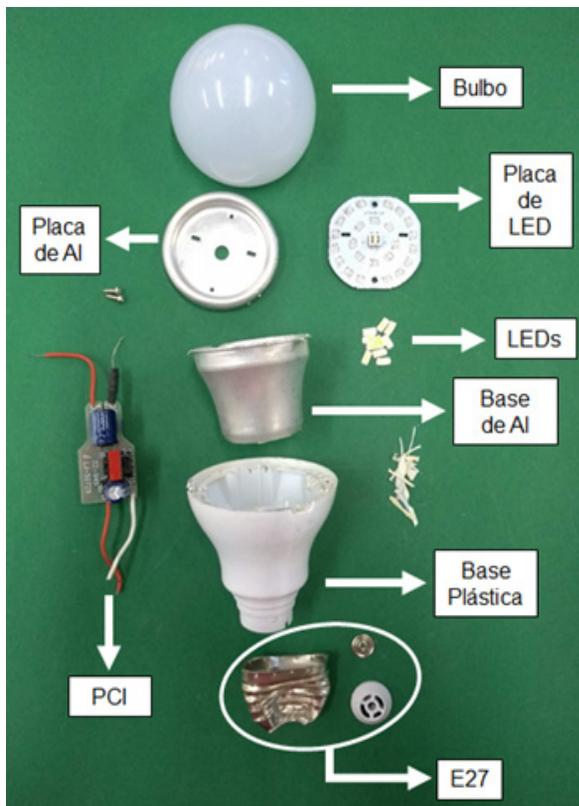


Figura 10: Lâmpada LED tipo bulbo desmontada.
Fonte: Autores.

- Existem duas classificações/nomenclaturas para o comércio de peças de alumínio pela cooperativa, sendo as chamadas de “alumínio puro”, ou seja, peças que são livres de qualquer outro material diferente e “alumínio contaminado” que são peças que ficam com outros materiais junto delas como polímeros ou outros metais que não puderam ser separados;

- Peças vendidas como alumínio puro apresentam um valor de mercado melhor do que as consideradas como alumínio contaminado, ou seja, é vantajoso separar bem todas as peças e materiais quanto for possível;

- Os polímeros até o presente momento são comercializados todos juntos, então, em um primeiro momento não existe a necessidade de classificá-los para a cooperativa;

- As PCIs possuem uma classificação que pode variar o preço delas, ou seja, existe a necessidade de classificá-las devidamente;

- Não existe vantagem para a cooperativa, até o presente momento, em retirar os LEDs da sua placa, uma vez que não existe comércio para este material e ser umas das tarefas mais difíceis e demoradas do processo de desmontagem. (SANTOS *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2020).

O Quadro 1 resume e compila os materiais que podem conter nas diferentes peças da lâmpada bem como o destino que deve ser tomado pela cooperativa. Tal quadro poderá ser fixado em frente à mesa de desmontagem para lembrar ao operador onde cada parte deve ser destinada.

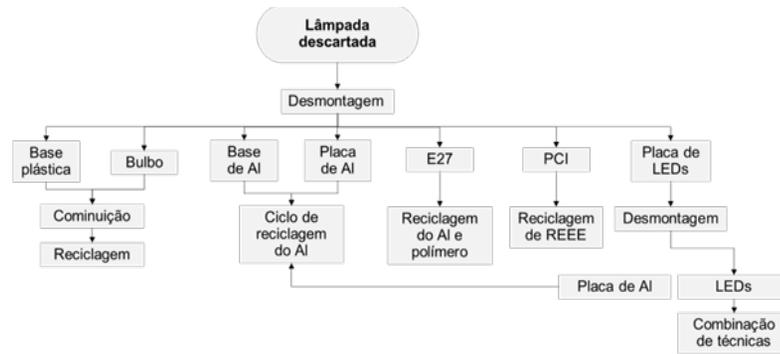


Figura 11: Destino de reciclagem de cada parte da lâmpada.
Fonte: Autores.

4.3. Definição do passo-a-passo e layout da mesa de trabalho para desmontagem de lâmpadas LED

Frente ao exposto, desenvolveu-se um fluxograma com o passo-a-passo de desmontagem das lâmpadas LED tipo bulbo. E com isso, criou-se um cartaz com o passo-a-passo da desmontagem de lâmpadas deste tipo. Tal cartaz será fixado junto a bancada de desmontagem de lâmpadas LED que será preparado na cooperativa. A Figura 12 apresenta o cartaz elaborado com o fluxograma de passo-a-passo de desmontagem.

Após isso, foi possível elaborar o layout de uma mesa de trabalho para a desmontagem de lâmpadas LED, conforme a Figura 13 e a Figura 14 sugeriu-se o layout da vista de frente e de cima da mesa de trabalho.

Com as Figuras 13 e 14 verifica-se que se sugere a adoção de tonéis e caixas para o armazenamento das lâmpadas descartadas e para as partes após desmontagem. Sugere-se a separação de um tonel para polímeros, onde em um primeiro momento todas as partes poliméricas serão armazenadas juntas, pois a cooperativa comercializa os polímeros todos juntos. Um tonel para alumínio “puro” e outro para “contaminado”, pois a cooperativa consegue obter um valor maior em peças de alumínio que não estejam ligadas a outros materiais ou possuam alguma pintura, enquanto em peças que apresentam alguma pintura ou mistura com outros materiais é considerado contaminado, baixando o valor. Além disso, um tonel para as PCIs que também podem ser comercializadas.

Em cima da mesa recomenda-se o uso de caixas menores para armazenamento de peças pequenas como parafusos e fios, além de uma para descarte de rejeitos, que neste caso seriam restos de adesivos podendo ser encontrados em algumas lâmpadas.

Em frente à mesa de trabalho deve-se fixar o cartaz com o passo-a-passo, bem como o quadro com a indicação do destino de cada parte, além de um painel para fixação das ferramentas. Embaixo da mesa sugere-se o uso de uma prateleira, onde em uma gaveta devem conter os EPIs e em outra armazenar ferramentas extras.

Parte	Material	Destino para venda
Bulbo	Polímero	Polímeros/ plásticos
Base de polímero	Polímero	Polímeros/ plásticos
Placa de liga de Al	Liga de Alumínio	Alumínio puro
Base de liga de Al	Liga de Alumínio	Alumínio puro
Placa de LEDs	Liga de Alumínio, cobre, tinta, materiais variados	Alumínio contaminado
PCI	Materiais diversos	PCI
Base do E27	Liga de Alumínio + acabamento	Alumínio contaminado
Pino E27	Liga de Alumínio + acabamento	Alumínio contaminado
Fundo E27	Polímero	Polímeros/ plásticos
Adesivo	Indefinido	Rejeito

Quadro 01: Materiais que compõe cada parte das lâmpadas e destino para a cooperativa.
Fonte: Autores.

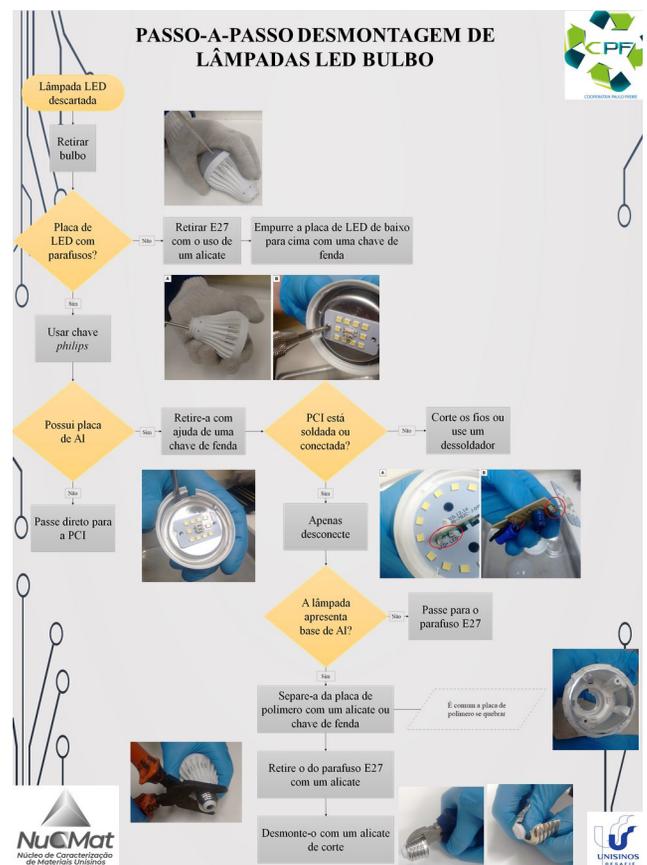


Figura 12: Cartaz elaborado para auxílio no passo-a-passo da desmontagem das lâmpadas.
Fonte: Autores.

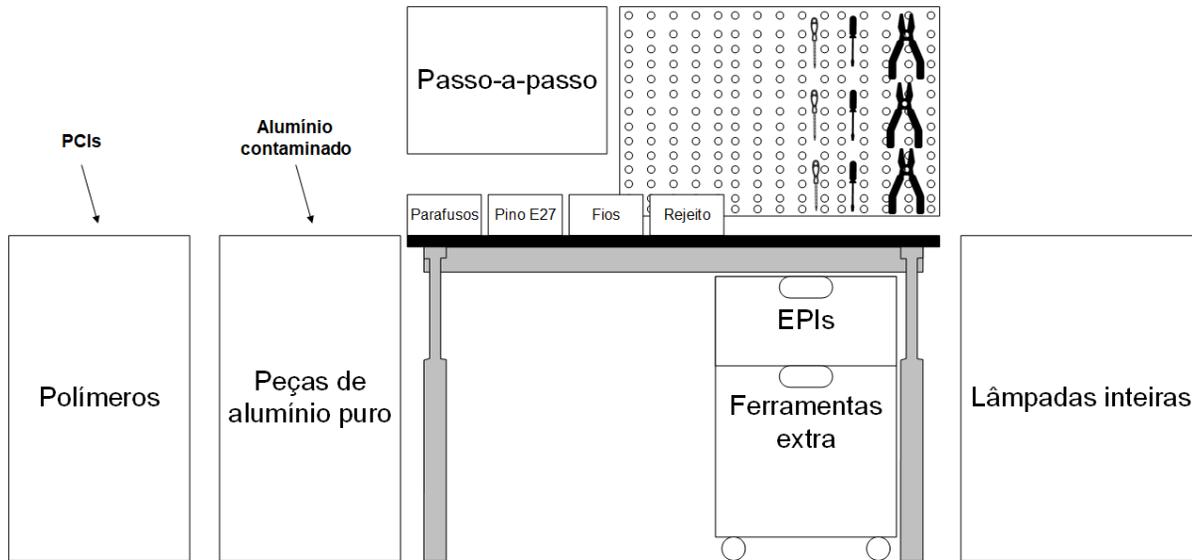


Figura 13: Layout da vista de uma mesa de trabalho para desmontagem de lâmpadas LED.
Fonte: Autores.

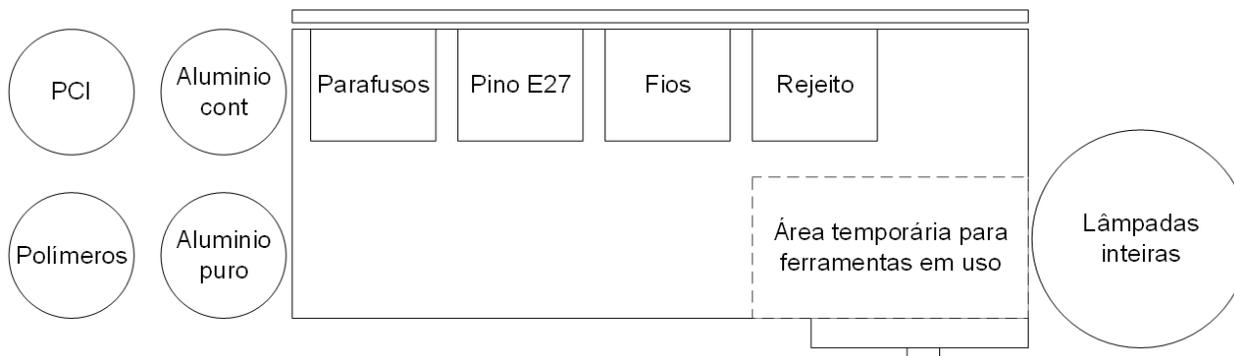


Figura 14: Layout da vista de cima de uma mesa de trabalho para desmontagem de lâmpadas LED.
Fonte: Autores.

4.4. Estimativa de Rendimento

Para estimar o rendimento que pode ser alcançado com a desmontagem e comercialização dos materiais das lâmpadas LED, primeiramente definiu-se o valor que cada material é comercializado pela cooperativa. O Quadro 2 apresenta estes valores.

Como as PCIs apresentam grande variação de valor de venda, para a cooperativa, conforme sua composição e tipo de placa, podendo variar de R\$ 1,60 a R\$ 20,00 reais. Placas que apresentam chips e ponteiros de ouro são mais valorizadas e podem custar em torno de R\$ 15,00 a R\$ 20,00 reais o quilo. Como as PCIs das lâmpadas não possuem chips e ponteiros de ouro optou-se por considerá-las como placas pesadas a um valor de R\$ 7,00/kg. A Figura 15 apresenta como são as PCIs das lâmpadas LED.

A Tabela 1 apresenta o balanço de massa de 12 lâmpadas LED tipo bulbo de potências variadas e a média mássica para cada parte das lâmpadas. Dessa forma, elaborou-se a Tabela 2 onde se encontram os valores de rendimento para cada material de uma lâmpada de massa média de 48,98g.

Material	Valor/kg
Alumínio puro	R\$ 3,50
Alumínio contaminado	R\$ 3,00 – 2,80
Polímeros misturados	R\$ 1,20
PCI	R\$ 7,00

Quadro 2: Preço por kg de cada material.
Fonte: Autores.

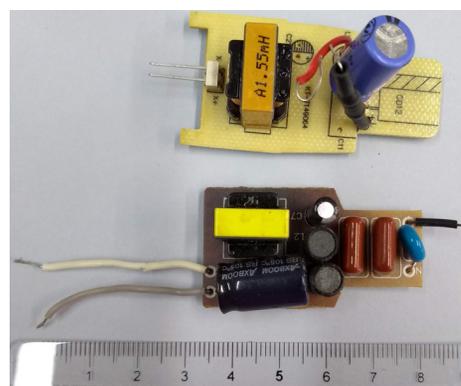


Figura 15: Placas de circuito impresso de lâmpadas LED tipo bulbo.
Fonte: Autores.

Massa por parte (g)													
Parte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Média (g)
Inteira	50,81	74,00	60,97	66,45	67,15	36,15	66,50	47,68	47,99	47,81	47,09	48,75	55,11
Base de polímero	14,01	16,84	13,90	15,47	15,63	12,35	15,27	9,91	12,57	11,81	9,94	12,76	13,37
Base de Al	5,72	7,06	9,43	12,41	12,39	-	12,40	6,89	8,08	8,11	7,09	8,18	8,15
Bulbo	8,61	8,41	10,05	10,63	11,07	8,09	10,80	10,87	9,74	9,97	10,76	9,91	9,91
Placa de Al	4,82	8,59	8,20	9,39	9,71	-	9,54	3,95	4,84	4,86	3,81	4,78	6,04
Parafusos	0,43	0,32	0,36	0,53	0,53	0,50	0,52	0,26	-	-	0,28	-	0,31
PCI	11,63	8,48	11,76	11,29	11,36	7,92	11,21	9,15	6,68	5,92	9,45	6,59	9,29
Placa de LED	2,14	5,41	4,05	3,89	3,94	4,77	3,92	3,29	3,54	3,53	3,28	3,64	3,78
Adesivo	0,20	0,04	0,46	-	-	-	-	0,43	0,10	0,34	0,05	0,49	0,18
E27 inteiro	2,20	3,56	2,71	2,41	2,40	2,49	2,34	2,21	2,14	2,24	2,12	2,16	2,41

Tabela 1: Balanço de massa de lâmpadas LED tipo bulbo desmontadas.
Fonte: Autores.

Material	Quant./lâmpada (g)	Valor material	Valor médio
Polímero	23,61	R\$ 1,20/kg	R\$ 0,028
Alumínio puro	14,19	R\$ 3,50/kg	R\$ 0,049
Alumínio cont.	3,78	R\$ 3,00/kg	R\$ 0,011
PCI	9,29	R\$ 7,00/kg	R\$ 0,065
Valor total médio por lâmpada		R\$ 0,153	

Tabela 2: Estimativa de rendimento com a venda de matérias de uma lâmpada.
Fonte: Autores.

A partir da Tabela 2, constatou-se que uma lâmpada com massa média de 55,11g pode render R\$ 0,15 centavos com a venda de seus materiais. Se considerar um tempo médio de desmontagem por lâmpada de 2 minutos e meio e uma jornada de trabalho diária de 5 horas/dia, e 5 dias por semana, conforme foi informado pela cooperativa, então um trabalhador conseguiria desmontar 600 lâmpadas por semana, 2.400 por mês, sendo cerca de 33,066 kg de lâmpadas por semana e 132,264 kg por mês, gerando assim, R\$ 90,00 por semana e R\$ 360,00/mês. Cabe ressaltar que neste cálculo não está sendo considerado a venda da placa com LEDs, por não haver mercado neste momento.

Tais valores poderiam ser maiores se melhorias no design das lâmpadas fossem aderidos por todos os fabricantes. Estas melhorias já foram citadas em outros trabalhos, onde indicou-se o uso de sistema de rosca para conexão de algumas partes, a extinção do uso de adesivos, adesão com uso de parafusos, sistemas de conexão PCI/ placa de LED mais modernos, dentre outras. (TANSEL, 2017; SANTOS *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2020). Outro ponto a ser estudado é o desenvolvimento de um sistema mecanizado para desmontagem destes equipamentos que poderia trazer ganhos em tempo e segurança do trabalhador. (KNOTH *et al.*, 2002; TANSEL, 2017)

Além disso, uma parte importante da lâmpada, ainda em estudo, mas que não possui comercialização e nem tecnologia de reciclagem consolidada ainda, é o LED. Esse componente possui materiais de alto valor agregado como ouro,

prata, cobre, gálio e alguns terras raras. E como acontece em muitos REEE a concentração destes metais no LED pode ser maior do que em minérios, tornando assim os LEDs fontes secundárias destes materiais. A Tabela 3 apresenta as concentrações de gálio, ouro e cobre no minério e em chips de LED e comprova que esse componente pode representar um futuro mercado vantajoso economicamente para cooperativas que não trabalhem com este resíduo.

Com a Tabela 3 percebe-se que mesmo existindo ainda desafios a serem enfrentados para se consolidar um mercado de reciclagem de LEDs em fim de vida e apesar de possuírem baixa massa e baixas concentrações de metais, ainda assim pode ser economicamente e ambientalmente vantajoso recuperar certos metais destes componentes, principalmente se levar em conta todos os impactos causados pela mineração convencional. (MECHI; SANCHES, 2010; ELER, 2019; FONSECA, 2019).

Cenci *et al.* (2020) indicam que as placas de LED de lâmpadas tipo bulbo também podem ser consideradas como uma fonte considerável de alumínio, maior do que as encontradas em minérios. De acordo com os autores, os módulos de LED das lâmpadas tipo bulbo são compostas por cerca de 54,78% de alumínio. Além disso, elas também apresentam cobre, estanho e ouro que também podem vir a ser recuperados no processo. (CENCI *et al.*, 2020).

Metal	Minério	Chip de LED
Ga	50g/t (Ayres e Peiró, 2017)	1.350-29 mil g/t (Ueberschaar, Otto e Rotter, 2017; Annoni et al., 2019)
Au	1-5g (Umicore, 2016)	360g/t (Annoni et al., 2019)
Cu	10kg/t (Umicore, 2016)	290kg/t (Annoni et al., 2019)

Tabela 3: Concentrações de Ga, Au e Cu em minérios e em chips de LED.
Fonte: Autores.

Desse modo, percebe-se uma oportunidade de aumentar o lucro com a desmontagem e reciclagem dessas lâmpadas a partir do momento em que os módulos de LED se tornarem atrativos para o mercado de reciclagem.

A Roskill (2020) estima o valor do kg de gálio em cerca de US\$ 200,00, considerando que em 23 de janeiro de 2021 o dólar americano estava custando R\$ 5,47, ou seja, o gálio estaria rendendo cerca de R\$ 1.094,00/kg (1,094 a grama). Já a grama do ouro chegou a R\$ 306,71 em 22 de julho de 2020, tendo uma valorização de 78% com a pandemia, segundo relata Valverde (2020). Considerando que Annoni *et al.* (2019) encontraram em 1 kg de LEDs vermelhos teores de 1,35g de Ga, 0,36g de Au e 290g de Cu, o rendimento para cada kg de LEDs reciclados poderia ser em média de R\$ 110,41 com ouro e R\$1,47 com gálio.

No entanto, deve-se considerar os ganhos ambientais da recuperação de metais contidos em componentes eletrônicos, além da redução de resíduos destinados a aterros e possíveis contaminações de solo e água. A mineração tradicional é responsável por uma série de impactos ambientais, tais como supressão da vegetação, alteração da qualidade do solo, alteração das características e da qualidade de corpos hídricos próximos e até mesmo águas subterrâneas, poluição do ar, ruídos, vibrações, desfiguração da paisagem, geração de resíduos, geração de lamas, além dos riscos de acidentes. (MECHI; SANCHES, 2010; ELER, 2019; FONSECA, 2019). Além disso, com o crescimento populacional e o avanço da urbanização muitos destes metais vem diminuindo na crosta terrestre. (NANCHARAIH; MOHAN; LENS, 2016).

A logística reversa pode proporcionar o aumento do valor dos REEE e ao mesmo tempo diminui os danos ambientais atribuídos a extração de matérias-primas, emissões e desperdícios. Um ciclo fechado de materiais possibilita a redução de consumo de recursos naturais não renováveis, não geração de resíduos, economia de energia, além de ganhos econômicos como criação de empregos e oportunidades de negócios, benefícios estes alinhados com os preceitos da economia circular. BALDÉ *et al.*, (2017).

Ademais, de acordo com Baldé *et al.* (2017) sistemas adequados e eficientes de gerenciamento e gestão aliados a boas políticas são necessários para permitir a recuperação destes materiais valiosos e explorar a oportunidade de obtenção de valores impressionantes, bem como

evitar danos ambientais. Segundo os autores, um sistema eficiente deve facilitar a criação de infraestrutura e incentivo a recuperação destes materiais, além disso, evita a perda dos mesmos em outras rotas como a de resíduos sólidos urbanos ou acabem em locais com sistemas ineficientes de reciclagem, onde se poderiam perder materiais importantes em processos de separação imperfeitos. (BALDÉ *et al.*, 2017).

Baldé *et al.* (2017) comentam que ao invés de nos guiarmos nos atuais indicadores de reciclagem que se baseiam nas porcentagens de materiais reciclados, mas sim em metas de reciclagem que se baseiem no valor dos materiais, todo o ciclo de reciclagem dos REEE se voltaria para a recuperação de metais valiosos, o que proporcionaria um mecanismo de mercado para facilitar e promover melhorias na gestão destes resíduos. Se considerarmos a geração mundial de 2016, cerca de 55 bilhões de euros poderiam ter sido gerados com a recuperação de matérias primas secundária oriundas de REEE. (BALDÉ *et al.*, 2017).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização deste trabalho pode-se perceber percebeu-se que existe a possibilidade de geração de renda com a reciclagem de lâmpadas LED. Além disso, a reciclagem completa da lâmpada garantiria, além de ganhos econômicos, ganhos ambientais.

Este trabalho vai ao encontro com os conceitos de economia circular e mineração urbana, pois pretende dar um novo ciclo para cada material da lâmpada considerando-as como fontes secundárias de materiais e metais de grande valor econômico e tecnológico.

Entretanto, algumas questões devem ser enfrentadas, como a educação ambiental da população sobre o correto destino destes equipamentos, bem como a necessidade de segregá-las das fluorescentes, uma vez que a mistura delas podem ocasionar contaminação e riscos ao trabalhador.

O desenvolvimento de uma metodologia e passo-a-passo de desmontagem, bem como um treinamento para os trabalhadores da cooperativa pode significar a otimização do processo de desmontagem e visa tornar a lâmpada LED um novo equipamento a ser trabalhado pela cooperativa. A criação de uma bancada de trabalho preparada com todas as ferramentas, EPIs e recipientes

para armazenamento também visa garantir otimização do processo.

Com a desmontagem de 600 lâmpadas por semana um trabalhador consegue gerar uma renda (R\$ 360,00/mês) de aproximadamente 36% do que vem sendo gerada atualmente (R\$1.000,00) na cooperativa reciclando diversos outros equipamentos. Com melhorias no design das lâmpadas e possível desenvolvimento de um sistema automatizado tais ganhos poderiam ser melhorados.

Por fim, com o desenvolvimento de uma tecnologia de reciclagem e recuperação dos metais do LED, os ganhos com desmontagem se completam e a reciclagem das lâmpadas tende a aumentar, e consequentemente aumento de renda.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela bolsa de mestrado. À UNISINOS pela estrutura. À Cooperativa Paulo Freire pela parceria e disponibilidade. Os autores agradecem também ao CNPq pelo apoio financeiro concedido como bolsa de autoria, Bolsa de Pesquisa em Produtividade CNPq, Bolsa de pesquisa em desenvolvimento tecnológico DT 2 - CNPq. E à FINEP pelo apoio financeiro em projeto.

REFERÊNCIAS

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

BALDÉ, C.P.; FORTI, V.; GRAY, V.; KUEHR, R.; STEGMANN, P. The Global E-waste Monitor – 2017, United Nations University (UNU), **International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA)**, Bonn/Geneva/Vienna. 2017. Disponível em: <<https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/GEM%202017/Global-E-waste%20Monitor%202017%20.pdf>>. Acesso em: 6 jun 2021.

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.

CENCI, M. P.; BERTO, F. C. D.; SCHNEIDER, E. L.; VEIT, H. M. **Assessment of LED lamps components and materials for a recycling perspective**. Waste Management. v. 107, p. 285-293, 2020.

Cotação do ouro acumula escalada de 78% em 1 ano - **Diário do Comércio**. Disponível em: <https://diariodocomercio.com.br/economia/cotacao-do-ouro-acumula-escalada-de-78-em-1-ano>. Acesso em: 23 jan 2021.

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.

ELER, G. O que é e para que serve uma barragem de rejeitos de mineração. **Super Interessante**. 2019. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/sociedade/o-que-e-e-para-que-serve-uma-barragem-de-rejeitos-de-mineracao/>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

ESTEVES, R. A. A indústria do resíduo: panorama das cooperativas de reciclagem e dos catadores de resíduos no estado do Rio de Janeiro. **Revista Monografias Ambientais**. v. 14, n. 2, p. 86-99, 2015.

FONSECA, B. Brasil registra mais de três acidentes em barragens por ano. **Publica Agência de Jornalismo Investigativo**. 2019. Disponível em: <<https://apublica.org/2019/01/brasil-registra-mais-de-tres-acidentes-em-barragens-por-ano/>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

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. CARVALHO, 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.

IŞILDAR, A.; HULLEBUSCH, E. D. V.; LENZ, M.; LAING, G. D.; MARRA, A.; CESARO, A.; PANDA, S.; AKCIL, A.; KUCUKER, M. A.; KUCHTA, K. Biotechnological strategies for the recovery of valuable and critical raw materials from waste electrical and electronic equipment (WEEE) – A review. **Journal of Hazardous Materials**. v. 362, p. 467-481, 2019.

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. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/3948138_Automated_disassembly_of_electronic_equipment>. Acesso em: 23 jan 2021.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**. v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010.

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.

MORIGI, J. B. A IMPORTÂNCIA DAS COOPERATIVAS DE RECICLAGEM NA CONSOLIDAÇÃO DOS CANAIS REVERSOS DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS: Um Estudo Sobre

Uma Cooperativa de Reciclagem Localizada em Maringá - PR. **Revista Perspectivas Contemporâneas**, v. 13, n. 1, p. 135-154, 2018.

NANCHARIAH, Y.V.; MOHAN, S. V.; LENS, P. N. L. Biological and Bioelectrochemical Recovery of Critical and Scarce Metals. **Trends in Biotechnology**, v. 34, n. 2, p. 137-155, 2016.

NICOLAI, F. N. P. Mineração urbana: avaliação da economicidade da recuperação de componentes ricos em Au a partir de resíduo eletrônico (e-waste). 2016. 242f. Tese (doutorado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Belo Horizonte, 2016.

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.

PRADIAN, J. K. Environmental Impact Assessment and Bioleaching of Metals from Electronic Waste (E-Waste). 2013. Tese (Doutorado em Filosofia e Biotecnologia). Jaypee University of Information Technology, Waknaghat, Índia, 2013.

ROSKILL. Gallium – **Outlook to 2029**. 10^a Ed. 2020. Disponível em: < <https://roskill.com/market-report/gallium/>>. Acesso em: 23 jan. 2021.

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.

SANTOS, E. C. A.; CAMACHO, A. L. D.; RAUBER, L.; MORAES, C. A. M. DESMONTAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE LÂMPADAS LED PARA RECUPERAÇÃO DE MATERIAIS. In: **9º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos**. Porto Alegre, RS, 2018. Disponível em:< <http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/842>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

SANTOS, E. C. A.; COLLING, A. V.; SCHAAB, A.; MORAES, C. A. M. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO DESIGN NA DESMONTAGEM DE LÂMPADAS LED DO TIPO BULBO PARA POSTERIOR RECICLAGEM. In: **11º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos**. Porto Alegre, RS, 2020.

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.

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.

TANSEL, B. From electronic consumer products to e-waste: Global outlook, waste quantities, recycling challenges. *Environment International*. v. 98, p. 35-45, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.10.002>. Acesso em: 15 ago 2022.

TUENGE, J. R.; HOLLomon, B.; DILLON, H.E.; SNOWDEN-SWAN, L. J. Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products, Part 3: LED Environmental Testing. United States, 2013. Disponível: <https://doi.org/10.2172/1074312>. Acesso em: 20 ago. 2022.

UEBERSCHAAR, M.; OTTO, S. J.; ROTTER V. S. Challenges for critical raw material recovery from WEEE – The case study of gallium. *Waste Management*. v. 60, p. 534- 545, 2017.

UMICORE BRASIL LTDA. Processamento de sucatas eletrônicas. V Seminário Internacional Sobre Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos – 18 e 19 de agosto de 2016, Recife, Pernambuco, Brasil.

VALVERDE, M. Cotação do ouro acumula escalada de 78% em 1 ano. In: *Diário do Comércio*. Belo Horizonte, 24 jul. 2020. Disponível em: <https://diariodocomercio.com.br/economia/cotacao-do-ouro-acumula-escalada-de-78-em-1-ano>. Acesso em: 23 jan. 2022.

XAVIER, L.H.; CARVALHO, T. C. M. B. Introdução à Gestão de 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. 1-18. XAVIER, L.H.; OTTONI, M. S.O.; GOMES, C. F.; ARAUJO, R.A.; BICOV, N., NOGUEIRA, M.; ESPINOSA, D.; TENÓRIO, J. Guia de desmontagem de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. Rio de Janeiro: CETEM, 2020. Disponível em:< <https://institutogea.org.br/wp-content/uploads/2020/11/guia-de-desmontagem-reee-2.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2022.

AUTORES

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6241-4274>

EMANUELE CAROLINE ARAUJO DOS SANTOS, MsC. | Universidade do Vale do Rio dos Sinos| Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - PPGEC | São Leopoldo, RS - Brasil | Correspondência para: Av. Unisinos, 950, Bairro Cristo Rei - RS, 93022-750 | E-mail: emanuelecarolinearaujo@gmail.com.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8443-6263>

JOSÉ LUÍS CARDOSO DA SILVA, Gestor Ambiental| Cooperativa Paulo Freire| Porto Alegre, RS - Brasil | Correspondência para: Rua Waldemar Gonçalves Pires, 110, Bairro Cristal - RS, 90820-070| E-mail: jlcs5050@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2776-103X>

DAIANE CALHEIRO EVALDT, Dra. | Universidade do Vale do Rio dos Sinos| Engenharia e Gestão Ambiental| São Leopoldo, RS - Brasil | Correspondência para: Av. Unisinos, 950, Bairro Cristo Rei - RS, 93022-750| E-mail: dcalheiro@unisinos.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7295-2826>

CARLOS ALBERTO MENDES MORAES, PhD. | Universidade do Vale do Rio dos Sinos| PPG's em Engenharia Civil e Engenharia Mecânica| São Leopoldo, RS - Brasil | Correspondência para: Av. Unisinos, 950, Bairro Cristo Rei - RS, 93022-750| E-mail: cmoraes@unisinos.br

Registro da contribuição de autoria:

Taxonomia CRediT (<http://credit.niso.org/>)

ECAS: Conceituação, Curadoria, Análise formal, Aquisição de financiamento, Investigação, Metodologia, Administração de projetos, Supervisão, Validação, Visualização, Escrita - rascunho original, Escrita - revisão e edição.

JLCS: Investigação, Validação, Visualização, Escrita - rascunho original.

DCE: Conceituação, Curadoria, Análise formal, Aquisição de financiamento, Investigação, Metodologia, Administração de projetos, Supervisão, Validação, Visualização, Escrita - rascunho original, Escrita - revisão e edição.

CAMM: Conceituação, Curadoria, Análise formal, Aquisição de financiamento, Investigação, Metodologia, Administração de projetos, Supervisão, Validação, Visualização, Escrita - rascunho original, Escrita - revisão e edição.

Declaração de conflito: nada foi declarado.

COMO CITAR ESSE ARTIGO

Emanuele C. A. dos Santos; José Luís C. da Silva; Daiane C. Evaldt; Carlos A. M. Moraes. Beneficiamento De Lâmpadas Led Inservíveis Em Uma Cooperativa De Reciclagem De Resíduos Eletroeletrônicos. **MIX Sustentável**, [S.l.], v. 8, n. 4, p. 63-76, set. 2022. ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2022.v8.n4.63-76>.

Subjected in: 23/11/2021

Accepted in: 04/07/2021

Published in: 01/09/2022

Responsible Editor: Paulo Cesar Machado Ferroli