

# Gestão de Resíduos Sólidos 2

Leonardo Tullio  
(Organizador)



**Leonardo Tullio**  
(Organizador)

# **Gestão de Resíduos Sólidos**

## **2**

**Atena Editora**  
**2019**

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

### Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

G393 Gestão de resíduos sólidos 2 [recurso eletrônico] / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Gestão de Resíduos Sólidos; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-188-6

DOI 10.22533/at.ed.886191403

1. Lixo – Eliminação – Aspectos econômicos. 2. Pesquisa científica – Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.).  
3. Sustentabilidade. I. Tullio, Leonardo. II. Série.

CDD 363.728

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Neste Volume II, são apresentados 18 artigos que analisaram o potencial de uso de diversos materiais em vários setores, propondo destino correto a esses resíduos.

A construção civil apresenta-se como elevado potencial na incorporação desses resíduos industriais, que podem ser utilizados como matéria-prima alternativa, uma vez que disponíveis em grandes quantidades e sem destinação pela indústria que o produz, sua utilização pode levar a vantagens econômicas, técnicas e ecológicas, ademais solução de muitos problemas da indústria.

Também se observa o potencial de utilização de resíduos da atividade agrícola no meio urbano, sendo assim o aproveitamento, além de minimizar os problemas ambientais, é visto como atividade complementar, que pode contribuir para a diversificação dos produtos e para a diminuição do custo final de produtos.

Todavia, a correta destinação de um resíduo deve ser estudada e tratada com cautela, pois o "desleixo" causa impactos ambientais incalculáveis na sociedade.

Bons estudos.

Leonardo Tullio

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
SUSTENTABILIDADE: USO DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL E EDUCAÇÃO AMBIENTAL	
<i>Cristine Machado Schwanke</i> <i>Juliana Young</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8861914031</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
UTILIZAÇÃO DE CARVÃO DE CAROÇOS DE BUTIÁ ( <i>BUTIA CAPITATA</i> ) COMO MEIO DEPURIFICAÇÃO ALTERNATIVA DE ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO	
<i>Beatriz Stoll Moraes</i> <i>Ferdinando Bisogno de Castro</i> <i>Maick Bravo da Silva</i> <i>Paulo Roberto Diniz da Silva</i> <i>Daniela Lilge Silva</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8861914032</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>25</b>
USO DE RESÍDUOS DE CELULOSE NA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS	
<i>Genyr Kappler</i> <i>Carlos Alberto Mendes Moraes</i> <i>Regina Célia Espinosa Modolo</i> <i>Juliana Damasio Waschevicz</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8861914033</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>34</b>
REJEITOS RADIOATIVOS DO MAIOR ACIDENTE RADIOLÓGICO DO BRASIL	
<i>Lení Maria de Souza</i> <i>Francisco Itami Campos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8861914034</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>46</b>
PRODUÇÃO DE CARBOXIMETILCELULASE E AVICELASE PELO BACILLUS SP SMIA-2 EM MEIO CONTENDO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR	
<i>Andréia Boechat Delatorre</i> <i>Silvania Alves Ladeira</i> <i>Marcela Vicente Vieira Andrade Gonçalves</i> <i>Cristiane de Jesus Aguiar</i> <i>Thiago Freitas de Almeida</i> <i>Meire Leles Leal Martins</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8861914035</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>55</b>
O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO MERCADO DE EQUIPAMENTOS GAMER	
<i>Felipe Elsemann Barreto</i> <i>Ana Júlia Senna Sarmiento Barata</i> <i>Ricardo Ribeiro Alves</i> <i>Djulia Regina Ziemann</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8861914036</b>	

**CAPÍTULO 7 ..... 68**

ESTUDO PARA INSTALAÇÃO DE CENTROS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO RIO DE JANEIRO EM SEROPÉDICA

*Hélio Fernandes Machado Júnior*

*Rui de Góes Casqueira*

*Fabíola Oliveira da Cunha*

**DOI 10.22533/at.ed.8861914037**

**CAPÍTULO 8 ..... 78**

ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DA SERICINA EMPÓ RESULTANTE DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DESIDRATADA EM “SPRAY DRYER”

*Ana Paula Sone*

*Camilo Freddy Mendoza Morejon*

*Marcelino Luiz Gimenes*

**DOI 10.22533/at.ed.8861914038**

**CAPÍTULO 9 ..... 92**

ESTUDO DA CONFORMIDADE DE BLOCOS CERÂMICOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE CHAMOTE E CASCA DE ARROZ

*Ivando Stein*

*Maurício Livinali*

*Éder Claro Pedrozo*

*Lucas Fernando Krug*

**DOI 10.22533/at.ed.8861914039**

**CAPÍTULO 10 ..... 103**

ESTUDO COMPARATIVO DO LIXIVIADO GERADO POR RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICO E ELETROELETRÔNICO EM SIMULAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

*Beatriz Rodrigues de Barcelos*

*Caio Soares Camargos*

*Gabriel Alves Teixeira*

*Lorena Silva Pereira*

*Ygor dos Santos Carneiro*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140310**

**CAPÍTULO 11 ..... 116**

DESMONTAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE LÂMPADAS LED PARA RECUPERAÇÃO DE MATERIAIS

*Emanuele Caroline Araujo dos Santos*

*Alini Luísa Diehl Camacho*

*Leonardo Daniel Rauber*

*Carlos Alberto Mendes Moraes*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140311**

**CAPÍTULO 12 ..... 126**

CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE PETROLINA/PE

*David José Oliveira da Silva*

*Iago Santos Calábria*

*Walter de Moraes Calábria Junior*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140312**

**CAPÍTULO 13 ..... 136**

AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DE RESÍDUOS GERADOS PELA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE COMO MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA A INDÚSTRIA CIMENTEIRA

*Joana Gomes Meller*  
*Letícia Torres Maia*  
*Oscar Rubem Klegues Montedo*  
*Dachamir Hotza*  
*Hiany Mehl Zanlorenzi*  
*Silvana Meister Sommer*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140313**

**CAPÍTULO 14 ..... 147**

ANÁLISE DOS PLANOS MUNICIPAIS DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO ESTADO DO PARANÁ

*Daniel Poletto Tesser*  
*Luciana Janoni Botelho de Freitas do Nascimento*  
*Antônio Carlos de Francisco*  
*Cassiano Moro Piekarski*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140314**

**CAPÍTULO 15 ..... 160**

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DO AQUECIMENTO DE ÁGUA ATRAVÉS DE UM AQUECEDOR SOLAR FEITO COM MATERIAL RECICLÁVEL

*Maiara Stein Wünsche*  
*Nadine Rech Medeiros Serafim*  
*Rafaela Picolotto*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140315**

**CAPÍTULO 16 ..... 170**

ANÁLISE DA MISTURA DO AGREGADO RECICLADO DE RCD ASSOCIADO AO SOLO LATERÍTICO PARA UTILIZAÇÃO NA CAMADA DE BASE DE PAVIMENTOS

*Natássia da Silva Sales*  
*Caio César Luz Araújo*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140316**

**CAPÍTULO 17 ..... 182**

ANÁLISE DA ECOEFICIÊNCIA DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM USINA SUCROALCOOLEIRA NO PIAUI

*Lilian de Castro Moraes Pinto*  
*Maria do Socorro Lira Monteiro*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140317**

**CAPÍTULO 18 ..... 191**

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA NACIONAL E INTERNACIONAL SOBRE TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

*Manoela Paiva de Amorim Santos*  
*Rafael de Freitas Taves*  
*Alexandre Lioi Nascentes*  
*Armando Borges de Castilhos Junior*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140318**

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 203**

## DESMONTAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE LÂMPADAS LED PARA RECUPERAÇÃO DE MATERIAIS

### **Emanuele Caroline Araujo dos Santos**

Universidade do Vale do Rio dos Sinos,  
Engenheira ambiental  
São Leopoldo – RS

### **Alini Luísa Diehl Camacho**

Universidade do Vale do Rio dos Sinos,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil  
São Leopoldo – RS

### **Leonardo Daniel Rauber**

Universidade do Vale do Rio dos Sinos,  
Graduação em Engenharia Ambiental  
São Leopoldo – RS

### **Carlos Alberto Mendes Moraes**

Universidade do Vale do Rio dos Sinos,  
Programas de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil e Engenharia Mecânica  
São Leopoldo – RS

**RESUMO:** Com o rápido desenvolvimento de tecnologias eletrônicas, a iluminação por lâmpadas LEDs está se tornando cada vez mais presente nas residências e nas indústrias. Com preços reduzindo, melhor eficiência energética do que as lâmpadas convencionais e maior vida útil, as LEDs têm começado a ser a primeira opção na compra de equipamentos de iluminação. No entanto, esta tecnologia requer muitos materiais considerados críticos, o que exige uma logística reversa cuidadosa

ao seu fim de vida. Há ainda muita dificuldade em termos de tecnologia para separação e reaproveitamento da maioria destes materiais. Com isso, o objetivo deste trabalho foi realizar a desmontagem e balanço de massa de lâmpadas LED do tipo bulbo a fim de se averiguar os materiais presentes nas mesmas. Observou-se certa complexidade na desmontagem das lâmpadas e encontrou-se grande quantidade de materiais altamente recicláveis como o alumínio, além de diversas partes poliméricas. Os resultados obtidos sugerem potencial na recuperação destes materiais, no entanto, observou-se também a necessidade de estudos mais aprofundados na separação e recuperação dos materiais contidos nos LEDs para garantir a logística reversa eficiente, assim como repensar o design destes produtos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lâmpada LED. Desmontagem. Reciclagem. Logística Reversa.

**ABSTRACT:** From the rapid development of electronic technologies, LED lighting is becoming more and more present in homes and industries. With reducing prices, better energy efficiency than conventional bulbs and longer life, LEDs have begun to be the first choice when purchasing lighting equipment. However, this technology requires many materials considered critical, which obliges a very careful reverse logistics to their end-of-life. There is still much

difficulty in terms of technology for separation and reuse of most of these materials. Under this context, the objective of this work was to perform the disassembly and mass balance of bulb type LED bulbs in order to ascertain the materials present in them. It was observed a certain complexity in disassembling the lamps and found a large quantity of highly recyclable materials such as aluminum, as well as several parts of polymer. The results suggest potential in the recovery of these materials, however, it was also observed the need for further studies on the separation and recovery of the materials contained in the LEDs, guaranteeing an efficient reverse logistic, and also rethinking the products design.

**KEYWORDS:** LED lamp. Disassembly. Recycling. Reverse logistic.

## 1 | INTRODUÇÃO

Com o aumento populacional e o desenvolvimento cada vez mais acelerado da indústria, assuntos como crise energética, escassez de recursos naturais e descarte de resíduos tem sido o foco de diversas discussões e questionamentos.

As lâmpadas por tecnologia de Diodo Emissor de Luz (LED, sigla de Light Emitting Diode) se enquadram em todos os tópicos acima citados, uma vez que se tornaram populares nos últimos anos devido ao seu baixo consumo energético, porém, necessitam de materiais específicos e críticos para seu funcionamento e ao seu fim de vida necessitarão de logística reversa.

Lâmpadas e luminárias LED se enquadram na categoria de equipamento eletroeletrônico, uma vez que, necessitam de uma placa de circuito impresso (PCI) para seu funcionamento, portanto quando descartadas necessitam de logística reversa obrigatória prevista pela PNRS. (BRASIL, 2010). Elas são citadas no anexo IV da diretiva europeia 2012/19/UE como equipamentos eletroeletrônicos de iluminação. (UNIÃO EUROPEIA, 2012, p. 59).

Segundo Teixeira, Rivera e Reiff (2016), o LED já era conhecido há mais de meio século e vinha sendo usado em diversas aplicações simples como mostradores e indicadores de status. Porém com pesquisas e inovações, como o desenvolvimento do LED azul, o aumento da vida útil e a diminuição de custos pode-se iniciar uma nova era da indústria de iluminação, onde esses componentes vêm sendo utilizados em substituição às formas convencionais de iluminação. (TEIXEIRA; RIVERA; REIFF, 2016).

Em comparação às formas de iluminação convencional (incandescentes e fluorescentes), a iluminação por LED possui como vantagens a maior vida útil e maior eficiência energética. O LED consome 75% menos energia do que as incandescentes e fluorescentes. (JANG, YOON e LEE, 2013).

O LED é uma tecnologia em ascensão que começa a trazer efeitos consideráveis em diversos setores da economia, aumentando cada vez mais sua quota no mercado

de iluminação. A queda dos preços e surpreendente evolução desta tecnologia como, por exemplo, produtos de alta potência, desencadeia a aceitação cada vez maior por parte dos consumidores. Sua eficiência e qualidade de luz foram substancialmente melhoradas desde a sua introdução no mercado. Somado a isso, as lâmpadas LED são isentas de mercúrio e tem uma liberdade de design que não é possível para outras tecnologias de iluminação. (ASCURRA, 2013; GASSMANN et al., 2016; JANG, YOOK e LEE, 2013).

Desde meados de 2007, as lâmpadas LED para casas particulares estão disponíveis no mercado. Atualmente pode-se escolher entre diversos modelos com formas e soquetes diferentes. No mercado não existem apenas lâmpadas para substituição das convencionais, mas também inúmeras luminárias com módulo LED fixa. Essa grande diversidade de produtos dificulta a quantificação e qualificação dos materiais característicos utilizados em equipamentos de iluminação de LED. (GASSMANN et al., 2016).

Os materiais/elementos que compõem o LED são considerados críticos citando alguns elementos terras raras como, por exemplo, o Lutécio (Lu) Cério (Ce) ou Európio (Eu), metais tecnológicos como o Gálio (Ga) e o Índio (In) e metais preciosos como o ouro (Au) e a prata (Ag). (GASSMANN et al., 2016).

Para a obtenção desta tecnologia inovadora, materiais considerados críticos como Gálio, Índio, Ítrio, Cério, Ouro, Prata, dentre outros, são utilizados combinados em pequenas quantidades. Neste sentido, se forem consideradas questões como: 1) consumo desenfreado de produtos contendo estes equipamentos, 2) escassez de matérias primas, 3) consumo energético, 4) disposição de resíduos, e principalmente, 5) a PNRS, o estudo de métodos de recuperação e reciclagem destes materiais torna-se de suma importância para o futuro do gerenciamento dos resíduos eletrônicos gerados.

## **2 | OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho foi desmontar e realizar balanço de massa em lâmpadas LED do tipo bulbo visando a recuperação dos materiais presentes nas mesmas.

## **3 | METODOLOGIA**

O modelo escolhido para o trabalho foi a Lâmpada LED do tipo bulbo (conforme ilustra a Figura 1), pois se trata da sucessora direta das lâmpadas incandescentes e fluorescentes compactas. Estas foram adquiridas por doação e compra em lojas de materiais de construção e decoração.



Figura 1 - Lâmpada LED tipo bulbo adquirida

Fonte: Elaborada pelos autores.

Assim que adquiridas as lâmpadas foram catalogadas por marca, potência, ano de comercialização quantidade, e materiais utilizados nas três partes externas: bulbo, base e parafuso de Edison. Após isso, foram pesadas inteiras em balança semi analítica da marca Bel Engenharia, localizada no Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais (LCVMat) na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Para a etapa de desmontagem utilizou-se ferramentas manuais como alicate, chave de fenda, chave philips e alicate de corte.

Após a desmontagem das lâmpadas realizou-se a catalogação das diferentes partes da lâmpada e a pesagem de cada uma, a fim de se fazer um balanço de massa e determinar a proporção que cada peça/ material representa na massa total da lâmpada.

#### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram adquiridas 7 lâmpadas LED do tipo bulbo de 3 marcas diferentes, com ano de comercialização em 2017. Optou-se por nomeá-las em códigos (Marca A, Marca B e Marca C) para preservar as marcas. As potências das lâmpadas ficaram na faixa de 4,8 e 5W. 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 (polímero ou vidro).

O Quadro 1 apresenta a catalogação, potências, ano de comercialização, quantidades, massas por marca e materiais das partes: bulbo, base e fundo do parafuso de Edison das lâmpadas estudadas. Além disso, no Quadro 1 encontram-se também as potências equivalentes para lâmpadas fluorescentes compactas, indicadas

nas embalagens das LEDs.

Marca Lamp.	Pot. (W)	Equiv. (W)	Ano de Com.	Quant.	Massa média (g)	Bulbo	Base	Fundo parafuso de Edison
A	4,8	10	2017	3	39,690	Pol.	Pol.	Pol.
B	5	10	2017	3	31,122	Pol.	Pol.	Pol.
C	5	10	2017	1	36,850	Pol.	Pol.	Pol.

Quadro 1 - Catalogação das lâmpadas LED adquiridas

Fonte: Elaborada pelos autores.

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

Todas as bases também são produzidas em polímero trazendo, assim, a primeira semelhança com os soquetes de lâmpadas fluorescentes compactas, caracterizados por Santos et al. (2013), que tinha sua base (nomeada pelos autores de invólucro da PCI) toda de polímero.

Santos et al. (2013) encontraram parafusos de Edison com fundos variando entre vidro e polímero. Com relação ao fundo do parafuso de Edison das lâmpadas adquiridas para este trabalho todas apresentavam o mesmo fabricado em polímero.

Segundo Tarantili, Mitsakaki e Petoussi (2010), geralmente os polímeros de REEE continuam apresentando boas propriedades após o fim de vida do equipamento. Porém, Achilias et al. (2009) afirmam que a reciclagem dos principais polímeros utilizados em equipamentos eletroeletrônicos, mesmo que muitas técnicas tenham sido desenvolvidas, ainda apresenta alto custo o que faz com que a destinação destes polímeros acabe sendo em aterros. Segundo os autores a diversidade de polímeros misturados e a adição de compostos aromáticos bromados (usados para retardantes de chamas) dificultam a recuperação destes materiais. (ACHILIAS et al., 2009).

Após a desmontagem pode-se dividir as lâmpadas em cinco partes: bulbo, módulo de LEDs, placa de circuito impresso, base e parafuso E27, como pode ser observado na Figura 2.

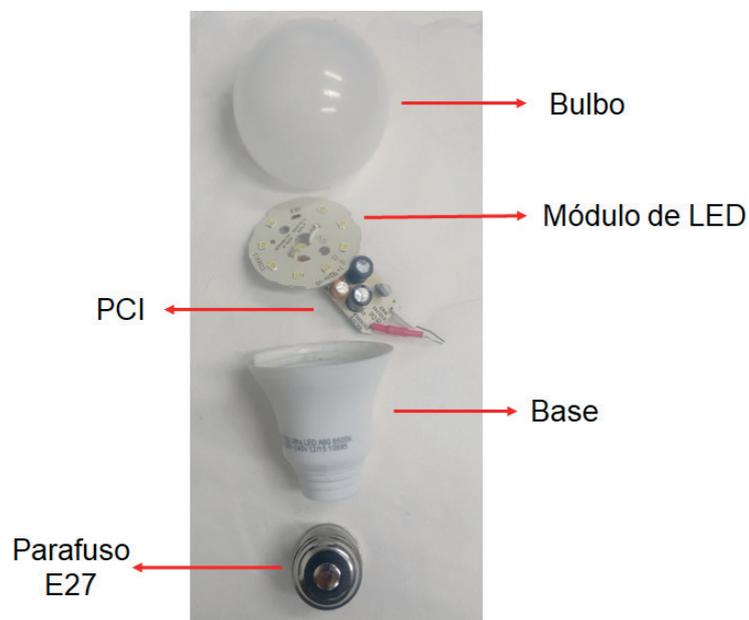


Figura 2 - Principais partes constituintes de uma lâmpada LED simples

Fonte: Elaborada pelos autores.

Com relação a forma de desmontagem também houveram variações nas lâmpadas, algumas apresentaram maior dificuldade na desmontagem do que outras que precisavam apenas serem desrosqueadas com a mão. Encontrou-se também diferença na forma como a placa de circuito impresso estava conectada ao módulo de LEDs, enquanto que algumas lâmpadas apresentavam as duas soldadas, outras possuíam um mecanismo de conexão mais modernos sendo apenas encaixado, o que facilita a logística reversa, utilizando a presente metodologia de segregação antes de qualquer moagem.

A separação dos LEDs de sua placa base mostrou-se como a etapa de maior dificuldade durante o processo de desmontagem, pois necessitou de um estilete e de força manual. Além disso, os LEDs se desmanchavam durante o processo ou saíam incompletos. A Figura 3 ilustra como os LEDs ficaram após a desmontagem.



Figura 3 - LEDs retirados.

Fonte: Elaborada pelos autores.

No entanto esta etapa pode ser de extrema importância para recuperação dos materiais críticos utilizados para produção e equipamento de LED, uma vez que, ao separá-lo da base de alumínio pode-se concentrar mais estes elementos. Segundo Ayres e Pieró (2017) e Buchert, Schuler e Bleher (2009), a concentração destes materiais em produtos acabados é muito baixa, o que dificulta e torna desafiadora a classificação e separação destes ao fim de vida dos equipamentos. Estudos recentes vem sendo abordados em busca de técnicas de recuperação do Gálio de resíduos da produção de LED e de produtos finais. (SWAIN; MISHRA; KANG; PARK; LEE; HONG; PARK, 2015; ZHAN; XIA; YE; XIANG; XIE, 2015; MANEESUWANNARAT; TEAMKAO; VANGNAI; YAMASHITA; THIAVETYAN, 2016; MANEESUWANNARAT; VANGNAI; YAMASHITA; THIAVETYAN, 2016; SWAIN; MISHRA; LEE; PARK; LEE, 2015; SWAIN; MISHRA; KANG; PARK; LEE; HONG,2015).

O parafuso de Edison pôde ser dividido em três partes: corpo, pino e fundo, conforme a Figura 4. Esta subdivisão vai ao encontro com o que foi estabelecido por Santos et al. (2013) onde os autores também puderam dividir o E27 nestas mesmas três partes.

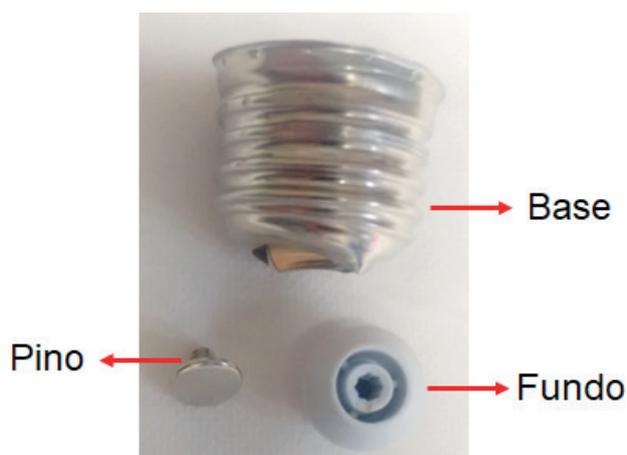


Figura 4 - Parafuso de Edison desmontado

Fonte: Elaborada pelos autores.

Além disso, todas as lâmpadas desmontadas apresentaram um adesivo utilizado para junção de algumas peças, conforme pode ser ilustrado pela Figura 5.

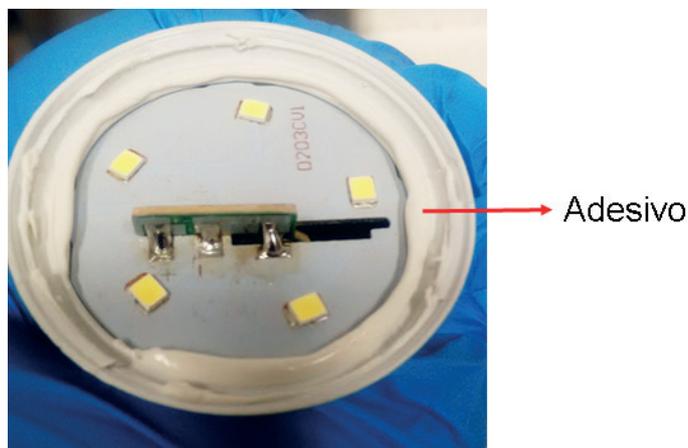


Figura 5 - Adesivo utilizado par junção das peças

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 1 apresenta as massas das lâmpadas inteiras e de cada uma de suas partes.

Parte	Marca C	Marca D	Marca F
<b>Inteira</b>	39,690	31,122	36,850
<b>Base de pol.</b>	14,208	9,710	13,962
<b>Bulbo</b>	9,162	8,911	9,029
<b>E27</b>	2,389	2,374	3,114
<b>PCI</b>	8,899	6,389	6,328
<b>Mód. LED</b>	3,992	3,167	3,825
<b>Adesivo</b>	1,037	0,706	0,590
<b>Base E27</b>	1,344	1,208	1,313
<b>Pino E27</b>	0,214	0,190	0,225
<b>Fundo E27</b>	0,854	0,971	1,576

Tabela 1 - Porcentagens mássicas das partes de cada Lâmpada LED

Fonte: Elaborada pelos autores.

Pode-se perceber que a base de plástico detém a maior massa para quase todas as lâmpadas variando entre 9 e 14% aproximadamente. Em seguida o bulbo apresenta a massas de 9% aproximadamente. As PCIs apresentaram massas entre 6 a 8%. Os módulos de LED apresentaram cerca de 3% da massa das lâmpadas.

Gassmann et al. (2016), ao realizar o balanço de massa de uma lâmpada LED de 9,5W, encontrou o dissipador de calor de alumínio como parte mais expressiva em massa na lâmpada (42,3%), contudo sua base de polímero apresentou 21,3% da massa da lâmpada estando próximo aos valores encontrados neste trabalho para as lâmpadas LED. O driver/PCI da lâmpada desmontada pelos autores apresentou fração mássica de 16% também indo ao encontro com os resultados obtidos para

este trabalho. O bulbo da lâmpada estudada por Gassmann et al. (2016), apesar de ser feito de vidro, apresentou 15% da massa da lâmpada, estando dentro dos valores encontrados nas lâmpadas desmontadas para este estudo. Porém o módulo de LED da lâmpada desmontada por Gassmann et al. (2016) apresentou apenas 3,5% da massa da lâmpada, os autores não mencionaram a existência de uma placa de Al extra, portanto este valor apresentou discrepância aos valores encontrados neste trabalho.

Santos et al. (2013) desmontaram e realizam balanços mássicos de soquetes de lâmpadas fluorescentes compactas de diferentes potências (40, 45, 65, 25, 15 e 22W) e encontraram uma média de PCI correspondendo a 54,10% em relação a massa total dos soquetes, 32,69% para o invólucro da PCI, 4,39% para o E27. Vale ressaltar que no estudo dos autores apresentaram a média para todos os equipamentos enquanto que no presente trabalho dividiu-se as marcas.

## 5 | CONCLUSÃO

A desmontagem das lâmpadas variou de acordo com as marcas. Deste modo, seria muito interessante que fosse adotado um padrão quanto ao sistema de montagem das lâmpadas, como por exemplo, uma rosca para o bulbo e o parafuso de Edison. Além disso, esta inovação poderia eliminar o adesivo utilizado para junção de algumas peças, sendo como um contaminante a menos nos materiais. A técnica de conexão da PCI com o módulo de LED, encontrado em algumas marcas, apresenta-se como uma excelente saída para eliminar a necessidade de dessoldagem destas peças.

Com relação aos polímeros encontrados nas lâmpadas, é imperativo a necessidade de identificação dos mesmos a fim de se facilitar a segregação e reciclagem dos mesmos. Sabe-se que existem diversas técnicas e estudos para reciclagem destes materiais.

Apesar da separação dos LEDs de sua placa base ter sido a etapa de maior dificuldade, esta apresenta-se de grande relevância. Pois, uma vez que os materiais críticos presentes neste componente se encontram em pequenas quantidades, um processo em que o módulo seria todo moído significaria a diluição destes elementos causando maior dificuldade na sua recuperação.

A complexidade na desmontagem destas lâmpadas, e portanto da logísticas reversa, conclusão já obtida anteriormente pelos autores para as lâmpadas fluorescentes compactas, mostra a necessidade também de se repensar o projeto de design destes produtos.

## REFERÊNCIAS

- ACHILIAS, D.S.; ANTONAKOU, E. V.; KOUTSOKOSTA, E.; LAPPAS, A. A. **Chemical Recycling of Polymers from Waste Electric and Electronic Equipment**. Journal of Applied Polymer Science. v.114, p. 212-221, 2009.
- AYRES, R. U.; PIERÓ, L. T. **Material Efficiency: Rare and Critical Metals**. The Royal Society Publishing. Fontainebleau, France, 2017.
- Buchert M, Schuler D, Bleher D. **Critical Metals for Future Sustainable - Technologies and Their Recycling Potential**. UNEP, Paris, 2009.
- 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 fev. 2018.
- GASSMANN, A. et al. **Led lamps recycling technology for a circular economy. LED professional**. Review (LpR), Dornbirn, 56, July/Aug. 2016. Disponível em: <https://www.led-professional.com/resources-1/articles/led-lamps-recycling-technology-for-a-circular-economy>>. Acesso em: 15 jan. 2018.
- JANG D, YOON S, LEE K (2014) **Optimum design of a radial heat sink with a fin-height profile for high-power LED lighting applications**. Appl Energy 116:260-268
- MANEESUWANNARAT, S.; TEAMKAO, P.; VANGNAI, A.S.; YAMASHITA, M. THIAVETYAN, P. **Possible mechanism of gallium bioleaching from gallium nitride (GAN) by Arthrobacter creatinolyticus: Role of aminoacids/peptides/proteins bindings with gallium**. Process Safety and Environmental Protection. v. 103, p. 36-45, 2016.
- MANEESUWANNARAT, S.; VANGNAI, A.S.; YAMASHITA, M.; THIAVETYAN, P. **Bioleaching of gallium from gallium arsenide by Cellulosimicrobium funkei and its application to semiconductor/electronic wastes**. Process Safety and Environmental Protection. v. 99, p. 80-87, 2016.
- SANTOS, E. C. A.; PICOLI, R. C. F.; CALHEIRO, D.; MARQUES, A.; MORAES, C. A. M. **Caracterização de Soquetes de Lâmpadas Fluorescentes Compactas**. In: 4º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. Porto Alegre, RS, 2013. Disponível em:< <http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/559>>. Acesso em: 24 fev 2018.
- SWAIN, B.; MISHRA, C.; KANG, L.; PARK, K.; LEE, C.G.; HONG, H.S.; PARK, J. **Recycling of metal-organic chemical vapor deposition waste of GaN based power device and LED industry by acidic leaching: Process optimization and kinetics study**. Journal of Power Sources. v. 281, p. 265-271, 2015.
- SWAIN, B.; MISHRA, C.; LEE, C.G.; PARK, K.; LEE, K. **Valorization of GaN based metal-organic chemical vapor deposition dust a semiconductor power device industry waste through mechanochemical oxidation and leaching: A sustainable green process**. Environmental Research. v. 140, p. 704-713, 2015.
- TARANTILI, P.A.; MITSAKAKI, A.N., PETOUSSI, M.A. **Processing and properties of engineering plastics recycled from waste electrical and electronic equipment (WEE)**. Polymer Degradation and Stability. v. 95, p. 405-410. 2010.
- TEIXEIRA, I.; RIVERA, R.; REIFF, L. O. **Iluminação LED: sai Edison, entram Haitz e Moore – benefícios e oportunidades para o país**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 43, p. 363-412. Mar. 2016. Disponível em:< <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/9576>>. Acesso em: 12 Mar. 2018.
- ZHAN, L.; XIA, F.; YE, Q.; XIANG, X.; XIE, B. **Novel recycle technology for recovering rare metals (Ga, In) from waste light-emitting diodes**. Journal of Hazardous Materials. v. 299, p.388-394, 2015.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Leonardo Tullio** - Doutorando em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Paraná – UFPR (2019-2023), Mestre em Agricultura Conservacionista – Manejo Conservacionista dos Recursos Naturais (Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR (2014-2016), Especialista MBA em Agronegócios – CESCAGE (2010). Engenheiro Agrônomo (Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais- CESCAGE/2009). Atualmente é professor colaborador do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, também é professor efetivo do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE. Tem experiência na área de Agronomia. E-mail para contato: leonardo.tullio@outlook.com

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-188-6

