



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

LUIZA OLIVEIRA DE SOUSA

ANÁLISE COMPARATIVA DE GANHO AMBIENTAL ENTRE AS LÂMPADAS  
FLUORESCENTES E AS LÂMPADAS DE LED

BELO HORIZONTE

2020

LUISA OLIVEIRA DE SOUSA

ANÁLISE COMPARATIVA DE GANHO AMBIENTAL ENTRE AS LÂMPADAS  
FLUORESCENTES E AS LÂMPADAS DE LED

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção de título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gisele Vidal Vimieiro

BELO HORIZONTE

2020



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO  
TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
AMBIENTAL - NS**



**ATA N 14 / 2020 - DCTA (11.55.03)**

**N do Protocolo: 23062.031176/2020-36**

**Belo Horizonte-MG, 25 de novembro de 2020.**

**LUISA OLIVEIRA DE SOUSA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE GANHO AMBIENTAL  
ENTRE AS LÂMPADAS FLUORESCENTES E AS  
LÂMPADAS DE LED**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção de título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.**

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gisele Vidal Vimieiro**

**Data de aprovação: 20 / 11 / 2020**

**Banca examinadora:**

---

**Gisele Vidal Vimieiro**

**Prof.<sup>a</sup> Dra. - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais**

---

**Daniel Brianezi**

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **14**, ano: **2020**, tipo: **ATA**, data de emissão: **25/11/2020** e o código de verificação: **52e04ca878**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO  
TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
AMBIENTAL - NS**



**ATA N 14 / 2020 - DCTA (11.55.03)**

**N do Protocolo: 23062.031176/2020-36**

**Belo Horizonte-MG, 25 de novembro de 2020.**

**Prof. Dr. - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais**

---

**Arnaldo Freitas de Oliveira Júnior**

**Prof. Dr. - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais**

*(Assinado digitalmente em 01/12/2020 17:53 )*  
**ARNALDO FREITAS DE OLIVEIRA  
JUNIOR**  
*PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO*  
*Matricula: 1332887*

*(Assinado digitalmente em 25/11/2020 20:18 )*  
**DANIEL BRIANEZI**  
*PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO*  
*Matricula: 2160691*

*(Assinado digitalmente em 25/11/2020 15:29 )*  
**GISELE VIDAL VIMEIRO**  
*PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO*  
*Matricula: 1905026*

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **14**, ano: **2020**, tipo: **ATA**, data de emissão: **25/11/2020** e o código de verificação: **52e04ca878**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço à Deus por todas as oportunidades postas a mim durante minha jornada acadêmica, por ter me dado forças e direção quando o futuro se mostrava incerto.

Agradeço aos meus pais, Antônio e Dalimar, pelo apoio as minhas escolhas, pelo incentivo de continuar sempre em busca dos meus sonhos e por estarem sempre presentes, me acompanhando nas minhas conquistas. À minha irmã, Lorena, por ser um exemplo do qual eu tenho orgulho de seguir.

Agradeço ao Guilherme pelo companheirismo e compreensão. Obrigada por ser meu porto seguro nos momentos bons e ruins. Aos meus amigos, obrigada pelos momentos de distração. Vocês fizeram estes anos mais leves e divertidos.

Agradeço a todo o corpo docente do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, principalmente aos professores do Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, por todo aprendizado repassado durante meu período no curso, essenciais para minha formação como profissional e para meu desenvolvimento como pessoa.

Por fim, agradeço à minha professora orientadora, Gisele Vidal Vimieiro, pela paciência e constante disposição em me auxiliar na elaboração deste trabalho. Seus ensinamentos contribuíram muito para o sucesso desta pesquisa e para minha conclusão no curso.

## RESUMO

No mundo globalizado, a preocupação com as questões ambientais passou a ser considerada uma oportunidade de desenvolvimento, fazendo com que houvesse um aumento na procura por tecnologias mais sustentáveis. Quando se fala em lâmpadas, esta procura se baseia na obtenção de um produto que entregue uma boa iluminação, tenha um baixo consumo energético e não apresente riscos ao meio ambiente. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo fazer uma análise comparativa, baseando-se no desempenho ambiental e econômico de lâmpadas fluorescentes, comumente utilizadas, e de lâmpadas de LED, tecnologia que vem ganhando espaço devido aos seus benefícios. A análise foi realizada a partir de pesquisa bibliográfica acerca dos temas pertinentes à pesquisa e por meio de estudos de caso realizados em seis locais que utilizam lâmpadas em larga escala. Os estudos de caso foram feitos com base em perguntas aplicadas em formato de questionário, indagando sobre os tipos de lâmpadas utilizados, os benefícios apresentados por eles e as questões que envolvem o descarte dos resíduos após o fim de sua vida útil. Os resultados demonstram que as lâmpadas fluorescentes apresentam maior risco ao meio ambiente e à saúde humana, no caso de descarte inadequado, devido a presença de substâncias tóxicas em sua composição. O questionário mostrou que a maioria dos locais ainda utilizam lâmpadas fluorescentes, mas já estão em processo de troca para a tecnologia LED à medida que as lâmpadas antigas vão queimando. Os respondentes ressaltaram que consideram a LED mais econômica e menos prejudicial ao meio ambiente, além de outros benefícios. Todos os locais realizam o descarte adequado, sendo feito por meio de empresas especializadas no transporte e tratamento dos resíduos. A pesquisa evidenciou que, de fato, as lâmpadas de LED apresentam vantagens significativas quando comparadas às lâmpadas fluorescentes convencionais. São mais econômicas pois possuem melhor eficiência energética e maior vida útil, são menos poluentes e não são compostas por metais pesados ou substâncias tóxicas. Este desfecho foi corroborado pela percepção prática dos locais pesquisados, confirmando as informações encontradas na bibliografia.

Palavras-chave: Lâmpada fluorescente. Lâmpada de LED. Tecnologia. Impacto Ambiental. Descarte de resíduos.

## **ABSTRACT**

In the globalized world, the concern with environmental issues started to be considered a development opportunity, causing an increase in the demand for more sustainable technologies. When talking about lamps, this demand is based on obtaining a product that delivers good lighting, has a low energy consumption and does not present risks to the environment. In this context, the present study aimed to make a comparative analysis, based on the environmental and economic performance of fluorescent lamps, commonly used, and LED lamps, technology that has gained space due to its benefits. The analysis was carried out based on bibliographic research on the topics relevant to the research and through case studies conducted in six locations that use large-scale lamps. The case studies were based on questions applied in a questionnaire format, inquiring about the types of lamps used, the benefits presented by them and the questions that involve the disposal of waste after the end of its useful life. The results demonstrate that fluorescent lamps present a greater risk to the environment and human health, in the case of improper disposal, due to the presence of toxic substances in their composition. The questionnaire showed that most places still use fluorescent lamps, but are already in the process of switching to LED technology as old lamps burn out. Respondents stressed that they consider LED to be more economical and less harmful to the environment, in addition to other benefits. All locations perform proper disposal, being done through companies specialized in the transport and treatment of waste. The research showed that, in fact, LED lamps have significant advantages when compared to conventional fluorescent lamps. They are more economical because they have better energy efficiency and longer life, are less polluting and are not composed of heavy metals or toxic substances. This outcome was corroborated by the practical perception of the researched places, confirming the information found in the bibliography.

**Keywords:** Fluorescent lamp. Led lamp. Technology. Environmental impact. Disposal of waste.

## LISTA DE TABELAS E FIGURAS

Tabela 1 – Consumo de lâmpadas no Brasil por tipo.....	14
Figura 1a – Lâmpadas Fluorescentes Tubulares.....	15
Figura 1b – Lâmpadas Fluorescentes Compactas.....	15
Figura 2 – Princípio operacional das lâmpadas fluorescentes.....	16
Figura 3 – Tipos de coletores Reciclus.....	21
Figura 4 – Número de lâmpadas fluorescentes coletadas e destinadas corretamente no Brasil em 2017.....	21
Figura 5 – Princípio operacional das lâmpadas de LED.....	22
Figura 6 – Quadro com as respostas à primeira pergunta.....	33
Figura 7 – Quadro com as respostas à segunda pergunta.....	35
Figura 8 – Quadro com as respostas à terceira pergunta.....	37
Figura 9 – Quadro com as respostas à quarta pergunta.....	39
Figura 10 – Quadro com as respostas à quinta pergunta.....	41
Figura 11 – Quadro com as respostas à sexta pergunta.....	43
Figura 12 – Quadro com as respostas à sétima pergunta.....	45
Figura 13 – Quadro com as respostas à oitava pergunta.....	47
Figura 14 – Quadro com as respostas à nona pergunta.....	49
Figura 15 – Quadro com as respostas à décima pergunta.....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**ABILUMI** - Associação Brasileira de Importadores de Produtos de Iluminação

**ABILUX** – Associação Brasileira Indústria de Iluminação

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas

**ABRELPE** – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

**CEMIG** – Companhia Energética de Minas Gerais

**CEMPRE** – Compromisso Empresarial para Reciclagem

**CETRIC** – Central de Tratamento e Disposições de Resíduos Industriais e Comerciais

**CLDC** – *City Lights Design Competition*

**CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente

**DNA** - *Deoxyribonucleic acid* ou Ácido Desoxirribonucleico

**EUA** – Estados Unidos da América

**INEE** – Instituto Nacional de Eficiência Energética

**INMETRO** – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

**IPT** – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

**LED** – *Light Emitting Diode* ou Diodo Emissor de Luz

**LF** – Lâmpada Fluorescente

**MMA** – Ministério do Meio Ambiente

**MME** – Ministério de Minas e Energia

**ONG** – Organização Não Governamental

**PCI** – Placa de Circuito Interno

**PNRS** – Política Nacional de Resíduos Sólidos

**U.S. DOE** – *United States Department of Energy* ou Departamento de Energia dos Estados Unidos

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
2.1. <i>Objetivo Geral</i> .....	14
2.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	14
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>15</b>
3.1. <i>Histórico da Iluminação no Brasil</i> .....	15
3.2. <i>Tipos de Lâmpadas Analisadas</i> .....	16
3.2.1. <i>Lâmpadas Fluorescentes</i> .....	16
3.2.1.1. <i>Eficiência Energética</i> .....	17
3.2.1.2. <i>Impactos no Meio Ambiente</i> .....	18
3.2.1.3. <i>Descarte dos Resíduos</i> .....	19
3.2.2. <i>Lâmpadas de LED</i> .....	23
3.2.2.1. <i>Eficiência Energética</i> .....	24
3.2.2.2. <i>Impactos no Meio Ambiente</i> .....	24
3.2.2.3. <i>Descarte dos Resíduos</i> .....	25
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>27</b>
4.1. <i>Pesquisa Bibliográfica</i> .....	27
4.2. <i>Coleta de dados</i> .....	27
4.3. <i>Análise Comparativa</i> .....	30
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>31</b>
5.1. <i>Cenário Atual das Lâmpadas no Brasil</i> .....	31
5.2. <i>Impactos Ambientais dos Tipos de Lâmpadas Estudados</i> .....	31
5.3. <i>Estudos de Caso</i> .....	32
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>7. RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>55</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>56</b>

## 1. INTRODUÇÃO

No final do século XX, assistiu-se a uma onda de mudanças adaptativas à nova ordem mundial. Entre estas, a mentalidade ambientalista reveste-se de especial relevância, na medida em que se identifica com as necessidades de competitividade, produtividade, segurança e qualidade, passando, assim, a constituir-se em fator estratégico no mundo globalizado. E, por esses motivos, as questões ambientais passaram a ser encaradas como oportunidades de desenvolvimento, seja pela aplicação de tecnologias ambientalmente seguras ou pela racionalização do uso de recursos naturais (RAPOSO; ROESER, 2000).

À medida que as tecnologias avançam e ganham força no mercado, surge um questionamento sobre qual produto é o melhor. Quando se fala em lâmpadas, o questionamento é ainda maior, porque vários fatores contribuem para a escolha daquela que melhor se adéqua às condições do ambiente em que será inserida; fatores como dimensões do local, grau de exposição à luz solar, maior ou menor intensidade de iluminação e diversos outros são decisivos para se definir qual lâmpada escolher. Em todos os casos, basicamente o que se almeja é uma boa iluminação, com um consumo energético reduzido e sustentável (PIRES, 2010).

Neste contexto, é importante preocupar-se também com o destino que essas lâmpadas terão após o término de sua vida útil. Para regulamentar as questões sobre resíduos sólidos, foi instituída, em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Com a Lei, sob nº 12.305, o país passou a contar com uma definição legal, em âmbito nacional, para resíduos sólidos, definidos nessa legislação como material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, no estado sólido ou semissólido (BRASIL, 2010).

São grandes os riscos apresentados pelo descarte inadequado dos resíduos dos produtos consumidos nas cidades (MARCHI, 2011). As lâmpadas fluorescentes, por exemplo, são consideradas resíduos perigosos – de acordo com a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 10.004/2007, que dispõe sobre a classificação de resíduos sólidos – e devem ter seu destino pós-consumo de forma adequada. O descarte indiscriminado deste produto vem acontecendo desde o início de sua utilização, podendo ser encontrados seus rejeitos em terrenos baldios, fundo de vales, lixões e aterros sanitários (MARTINS; CESTARI, 2015).

Estima-se que cerca de 30% de toda a carga elétrica instalada no mundo atualmente seja utilizada para a produção de iluminação artificial (POLONSKII; SEIDEL, 2008). Portanto, toda e qualquer alternativa apresentada para a redução de consumo de energia elétrica em sistemas de iluminação deve ser criteriosamente analisada, já que pode produzir significativos impactos financeiros e ambientais (RIBEIRO et al., 2011).

As lâmpadas incandescentes foram utilizadas durante muitos anos, principalmente em ambientes internos. No entanto, esta é uma tecnologia pouco eficaz, pois a maior parte da energia elétrica consumida é convertida em calor (aproximadamente 92%), e apenas uma parcela reduzida (8%) é convertida em luz visível (INEE, 2019).

Em comparação com as incandescentes, as lâmpadas fluorescentes apresentam vida útil e eficácia luminosa superiores. Além disto, não produzem calor excessivo e têm maior eficiência (SALVETTI, 2008). Um dos grandes problemas associados à utilização de lâmpadas fluorescentes reside no descarte inadequado dos tubos ao final de sua vida mediana. O mercúrio, metal pesado utilizado na fabricação destas lâmpadas, é altamente tóxico aos seres vivos e pode provocar a contaminação do solo e até mesmo de lençóis freáticos (BARGHINI, 2008).

A inovação são as lâmpadas de LED (*Light Emitting Diode* ou Diodo Emissor de Luz), que apresentam alta eficiência luminosa e elevada vida útil, destacando-se quando comparadas com outras fontes de luz (PINTO, 2008). O tempo de vida útil de uma lâmpada de LED é de aproximadamente 50000 horas, enquanto a fluorescente compacta é de 8000 horas e a incandescente é de 1000 horas (LIU et al., 2010).

Gastar menos e gerar mais. Trata-se do conceito de eficiência que a tecnologia LED leva ao setor de iluminação. Em comparação com as tradicionais incandescentes, por exemplo, as lâmpadas de LED consomem 85% menos energia (IPT, 2011). Além disto, o resíduo de LED contamina menos o meio ambiente no seu processo de descarte, pois é constituído de poucas matérias, sendo que sua maioria é alumínio, que pode ser reprocessado com mais facilidade que outros materiais (LOPES, 2014). Este fato, por consequência, também reduz o impacto ambiental e a conta do consumo de energia no final do mês.

Poucos estudos apresentaram comparações entre as lâmpadas fluorescentes e as de LED, evidenciando, de diferentes ângulos, as vantagens de uma em relação à outra. Nesse contexto,

é importante saber qual opção é a mais eficiente do ponto de vista energético, econômico e, principalmente, ambiental, visando o menor impacto possível quando descartada como resíduo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

O objetivo desta pesquisa é fazer uma análise comparativa entre as lâmpadas do tipo fluorescentes e do tipo LED, baseando-se no ganho ambiental proporcionado por cada tecnologia.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Verificar o cenário atual da utilização de lâmpadas fluorescentes e de LED no Brasil;
- Mostrar os impactos ambientais gerados pelos resíduos de cada tipo de lâmpada;
- Coletar dados de empresas/instituições sobre a utilização dos dois tipos de lâmpadas, suas percepções e ações quanto ao descarte; e
- Descrever e comparar o ganho ambiental de ambos os tipos de lâmpadas.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Histórico da Iluminação no Brasil

Inicialmente, a iluminação era realizada por meio de lampiões a combustível. As primeiras lâmpadas elétricas só começaram a ser utilizadas a partir de 1879, nos Estados Unidos da América (EUA), para iluminar as vias públicas. Os sistemas elétricos ainda eram utilizados de forma alternada com os lampiões, já que somente no século XX, os sistemas elétricos viriam a se tornar confiáveis o suficiente para operarem sem necessidade de retaguarda (CLDC, 2005).

No Brasil, o sistema de iluminação utilizava-se, majoritariamente, de lâmpadas incandescentes, iniciando seu decaimento em 2001, durante uma crise energética. Esta crise incentivou a troca de lâmpadas com o objetivo de reduzir o consumo. Com isso, novas tecnologias foram ganhando força e transformando o mundo da iluminação: lâmpadas de luz mista, lâmpadas a vapor de mercúrio (lâmpadas fluorescentes), lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão e, mais recentemente, as lâmpadas de LED (LOPES, 2014). Na Tabela 1 estão apresentadas as quantidades consumidas de lâmpadas de acordo com seu tipo, no ano de 2014. Destaca-se a maior utilização de lâmpadas fluorescentes neste período.

Tabela 1 – Consumo de lâmpadas no Brasil por tipo

<b>Tipos de lâmpadas</b>	<b>Unidades</b>
Halógenas	85 milhões
Incandescentes	150 milhões
Fluorescentes	250 milhões
Tubulares	100 milhões
Sódio e vapor metálico	11 milhões
LEDs	20 milhões

Fonte: ABILUX, 2014

Outro fator que impulsionou a procura por novas tecnologias no setor de iluminação foi a proibição da comercialização das lâmpadas incandescentes a partir de 2012. Como forma de atendimento ao cronograma estabelecido em dezembro de 2010, pela Portaria Interministerial 1007 dos Ministérios de Minas e Energia (MME); e da Ciência, Tecnologia e Inovação; e do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior, foram fixados índices mínimos de eficiência luminosa para fabricação, importação e comercialização das lâmpadas incandescentes de uso

geral em território brasileiro. Desta forma, as lâmpadas incandescentes foram sendo substituídas gradativamente, finalizando o processo em 2016, onde nenhuma lâmpada incandescente, de qualquer potência, poderia ser comercializada. (MME, 2016)

### 3.2. Tipos de Lâmpadas Analisadas

#### 3.2.1. Lâmpadas Fluorescentes

As Lâmpadas Fluorescentes (LF), inventadas por Nikola Tesla e introduzidas no mercado em 1938, ganharam destaque nas últimas décadas, pois apresentam uma vida útil e uma eficiência energética muito superior às lâmpadas incandescentes. (TEITEBAUM, 2015)

As LFs são lâmpadas de descarga de baixa pressão. Elas são constituídas por um tubo cilíndrico de vidro, no caso das lâmpadas tubulares (Figura 1a), preenchido com gases inertes e um não inerte, o mercúrio (Hg). A luz é emitida quando uma corrente elétrica passa entre os eletrodos, criando um arco de baixa intensidade que excita o vapor de mercúrio, produzindo radiação. Esta excita os átomos de fósforo, presentes no revestimento do tubo, ocorrendo a emissão de luz visível. (CESTARI; MARTINS, 2015). As LFs compactas (Figura 1b) funcionam sob o mesmo princípio, a diferença ocorre em seu formato. Este princípio operacional está demonstrado na Figura 2.

Figura 1a – Lâmpadas fluorescentes tubulares



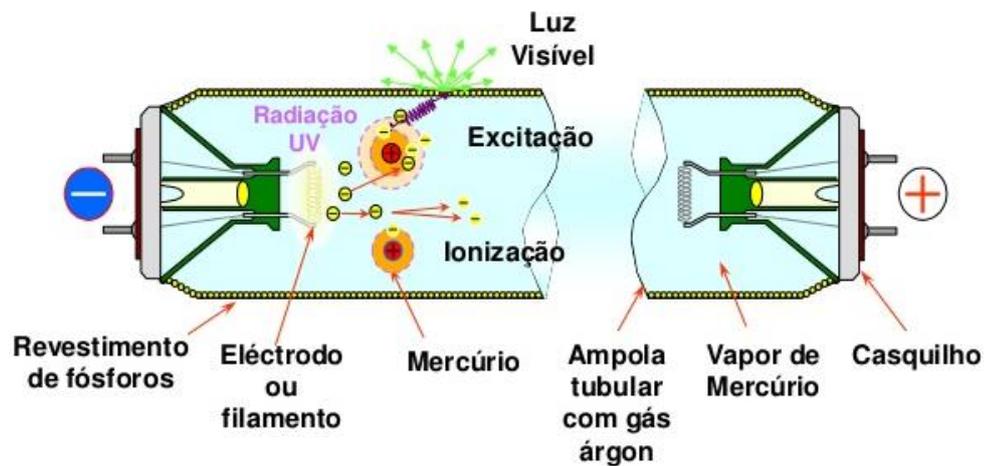
Fonte: TASCHIBRA,  
2019

Figura 1b – Lâmpadas fluorescentes compactas



Fonte: TASCHIBRA,  
2019

Figura 2 – Princípio operacional das lâmpadas fluorescentes



Fonte: Timóteo, 2011

Uma característica das lâmpadas fluorescentes é que seu funcionamento se dá por meio de resistência negativa, ou seja, uma característica volt-ampère negativa. Isto implica que a corrente elétrica que atravessa a lâmpada tende a aumentar continuamente, chegando ao ponto de destruir a lâmpada. Para impedir que isto aconteça, todas as lâmpadas fluorescentes necessitam de um reator, que tem a finalidade de limitar a corrente que passa pela lâmpada em um valor adequado ao seu funcionamento. Esta característica de aumento da tensão e temperatura inadequada a ignição das lâmpadas fluorescentes causa um excessivo e precoce desgaste dos filamentos da mesma. Isto prejudica a vida útil da lâmpada, fazendo com que ela seja danificada com pouco tempo de uso. (CREPALDI; FRIGATTI; LUCKOW, 2012)

Devido à maior eficiência e vida mediana, quando comparadas às lâmpadas incandescentes, as lâmpadas fluorescentes (tubulares ou compactas) são muito populares em aplicações residenciais e comerciais (POLONSKII; SEIDEL, 2008).

### 3.2.1.1. *Eficiência Energética*

Por definição, eficiência energética consiste na relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização, é fazer mais com menos energia (GIANESINI, 2013).

Em termos de produção de luz e eficiência, as lâmpadas contendo mercúrio são mais vantajosas do que as incandescentes, pois apresentam eficiência luminosa de 3 a 6 vezes superior, uma vida útil de 4 a 15 vezes mais longa e proporcionam uma redução no consumo de energia em cerca de 80%. Isto faz com que as lâmpadas de mercúrio contribuam para redução da geração de resíduos e para a redução do consumo de recursos naturais na produção de energia elétrica (ABILUX, 2001).

### **3.2.1.2. Impactos no Meio Ambiente**

Com a crescente preocupação com o meio ambiente, alguns produtos passaram a ser vistos de uma forma diferente. Este é o caso das lâmpadas fluorescentes. Antes, estas eram vistas como solução por gastar menos energia que as lâmpadas incandescentes, porém, atualmente, o mercúrio presente em sua composição tem gerado preocupações no público, nos governos e também em entidades não governamentais (TAN; LI, 2014).

Essa substância constitui um dos mais sérios e graves problemas de contaminação do homem e do meio ambiente. Ela é absorvida pelos organismos vivos e se acumula de forma contínua durante toda a vida. Por meio da contaminação do solo ou da água, o mercúrio entra com facilidade na cadeia alimentar, representando um perigo potencial para o homem que se alimenta de peixes e aves. A ação tóxica do mercúrio afeta o sistema nervoso central, provocando lesões no córtex e na capa granular do cérebro. São observadas alterações em órgãos do sistema cardiovascular, urogenital e endócrino. Dentre os principais sintomas tem-se a paralisia, dormência dos lábios, mãos e pés, distúrbios emocionais, fadiga, perda da memória, cefaleia, gengivite, estomatite e gosto metálico. Em casos de intoxicações severas, os danos são irreversíveis (CEMPRE, 2001). Além disto, o mercúrio é um contaminante mutagênico, capaz de promover uma modificação estrutural ou química no DNA.

No Brasil, por ano, são descarregadas na natureza perto de 3,5 toneladas de mercúrio contidas nas 85 milhões de lâmpadas descartadas nos aterros públicos, que vêm, sistematicamente, contaminando o meio ambiente (CETRIC, 2012).

Embora uma lâmpada tenha apenas em torno de 15 mg de mercúrio total, significando baixo risco de contaminação ambiental, o risco aumenta em caso de descarte inadequado em grandes quantidades em um único local (SEBALOS; MELO, 2019).

### **3.2.1.3. Descarte dos Resíduos**

As lâmpadas fluorescentes fazem parte do lixo gerado pelas indústrias, pelo comércio, por serviços gerais, pela iluminação pública e pelas residências. Estes resíduos devem ser descartados em centros de descontaminação, aterros sanitários ou industriais, uma vez que as lâmpadas são nocivas ao meio ambiente e à saúde humana.

A lâmpada que contém mercúrio é considerada como resíduo perigoso (resíduo classe I) e possui o código F044, na NBR 10004:2004 (Resíduos Sólidos) da ABNT, que classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados de forma adequada. (ABNT, 2004). Esta norma dispõe sobre o uso e pós uso destes produtos, passando pelo processo de reciclagem, a fim de reaproveitar os materiais de sua composição, além de definir a periculosidade de diversos elementos químicos.

No Brasil, embora não exista uma Resolução específica do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) sobre o manejo e descarte de lâmpadas fluorescentes, é estabelecido no artigo 33 da PNRS que os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de lâmpadas fluorescentes são obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos.

Em âmbito estadual, caso julguem necessário, os estados brasileiros são responsáveis pela criação de suas próprias leis sobre o descarte e tratamento dos resíduos de lâmpadas, repassando-as aos seus municípios. Em Minas Gerais, rege a Lei Estadual Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009, a Política Estadual de Resíduos Sólidos. O Art. 28 informa que o órgão ambiental competente manterá banco de dados atualizado com informações relativas a resíduos sólidos gerados, especialmente os industriais e perigosos, indústrias de reciclagem, transporte e destinação final devidamente licenciado. Esta lei especifica, conforme o Art. 47, que fabricantes, importadores, distribuidores e usuários finais são responsáveis pela destinação adequada dos resíduos. (SANTOS; LANA; OLIVEIRA, 2017).

O Brasil é o quarto país que mais consome lâmpada fluorescente no mundo. O descarte é realizado por empresas que recebem estas lâmpadas e encaminham para reciclagem em empresas especializadas. Na prática, muitas empresas descumprem a legislação decidindo por não realizar a destinação adequada desses resíduos, uma vez que os custos do descarte são muito

onerosos (SEBBEN, 2012). De acordo com o sítio eletrônico da empresa Apliquim Brasil Recycle (2020), o custo de reciclagem de cada lâmpada fluorescente pode variar de R\$1,20 a R\$2,00.

O termo reciclagem de lâmpadas se refere à recuperação de seus materiais e componentes e a sua reintrodução no setor produtivo.

Brandão, Gomes e Afonso (2011) apontam que, dentre as atuais tecnologias de reciclagem de lâmpadas fluorescentes, pode-se destacar:

- Processo químico: trata-se do esmagamento e da contenção do mercúrio. A quebra das lâmpadas ocorre sob uma cortina d'água, impedindo que o vapor de mercúrio escape para a atmosfera. A mistura de vidro e partes metálicas é então lavada, separando os materiais para reciclagem.
- Tratamento por sopro: utilizado somente para lâmpadas fluorescentes tubulares. Visa manter a integridade do tubo de vidro, encaminhando-o desta forma à reciclagem. As extremidades do tubo são quebradas, por um sistema de aquecimento e resfriamento. Em seguida, o tubo recebe um sopro de ar em seu interior, arrastando assim o pó de fósforo e o mercúrio presentes no tubo. Estes contaminantes seguem então para um sistema de ciclones e, em seguida, por um sistema de carvão ativado.
- Moagem com tratamento térmico: processo que opera sob pressão negativa (vácuo), para impedir o escape de mercúrio. Primeiramente, as lâmpadas são quebradas em fragmentos, permitindo a separação da poeira de fósforo contendo mercúrio dos outros elementos. Posteriormente, as partículas restantes são conduzidas à um ciclone, por um sistema de exaustão. Neste dispositivo, partículas maiores como vidro quebrado, terminais de alumínio e pinas são ejetados e isoladas por diferença gravimétrica e processos eletroestáticos. Após a separação dos elementos, cada um é enviado ao tratamento específico de acordo com seu tipo.

O Decreto nº 5.940 de 25 de outubro de 2006, estabelece que todo órgão e entidades da administração pública federal, direta e indireta, deve promover a separação dos resíduos recicláveis na fonte geradora e destiná-los às associações e cooperativas dos catadores de materiais recicláveis. Contudo, além de ser um resíduo passível de logística reversa, as lâmpadas fluorescentes são resíduos perigosos, que devem ser enviados para reciclagem

especializada. As cooperativas e associações de catadores não possuem a infraestrutura necessária para realizar o tipo de reciclagem requerido. Desta forma, a melhor maneira de descartar adequadamente os resíduos de lâmpadas fluorescente, cumprindo as legislações pertinentes, é o envio para empresas especializadas no tratamento e reciclagem destes materiais.

Atualmente, no Brasil, existem algumas empresas que oferecem a coleta, o tratamento e a destinação adequada de lâmpadas fluorescentes. Empresas como a Apliquim Brasil Recicle, Tramppo Comércio e Reciclagem de Produtos Industriais, Instituto Empalux, Pró-Ambiental, Ampla Minas, Hg Descontaminação, dentre outras, sendo estas três últimas situadas no estado de Minas Gerais.

Outra iniciativa interessante é o Programa Reciclus. A Reciclus é uma organização sem fins lucrativos, idealizada, formada e sustentada por empresas fabricantes, importadores de lâmpadas e equipamentos de iluminação e seus *stakeholders* (patrocinadores). O programa surgiu a partir da convocação do Ministério do Meio Ambiente para apresentação de um acordo setorial para implantação da logística reversa em todo o país. Este acordo setorial serviu como um instrumento de planejamento da PNRS, assinado em 2014, onde houve a implementação do Sistema de Logística Reversa de Lâmpadas Fluorescentes de Vapor de Sódio e Mercúrio e de Luz Mista. Os setores envolvidos no acordo foram o Ministério do Meio Ambiente (MMA), a Associação Brasileira da Indústria da Iluminação (ABILUX), a Associação Brasileira de Importadores de Produtos de Iluminação (ABILUMI), 24 (vinte e quatro) empresas fabricantes, importadoras, comerciantes e distribuidoras de lâmpadas. (RECICLUS, 2020)

A Reciclus organiza e desenvolve a coleta e o encaminhamento correto de lâmpadas fluorescentes, por meio de pontos de coleta (lojas e redes de supermercados que comercializam lâmpadas) distribuídos pelo Brasil. A partir da coleta, é responsável pelo encaminhamento de cada um dos elementos das lâmpadas para o armazenamento correto de componentes nocivos e reciclagem das outras partes, como o vidro. Atualmente existem 1580 pontos de coleta distribuídos pelas cinco regiões do país, em 354 cidades. Na cidade de Belo Horizonte existem 20 pontos de coleta. (RECICLUS, 2020)

Vale lembrar que a Reciclus está consolidada para operar a logística reversa de descartes de lâmpadas de uso doméstico, sendo que, segundo a PNRS, as entidades jurídicas, deverão ter

sua logística reversa própria. Porém, para entidades jurídicas, a Reciclus poderá prestar este tipo de serviço, mas com custos e projetos à parte. (RECICLUS, 2020)

A Figura 3 ilustra os tipos de coletores instalados pelo Programa Reciclus.

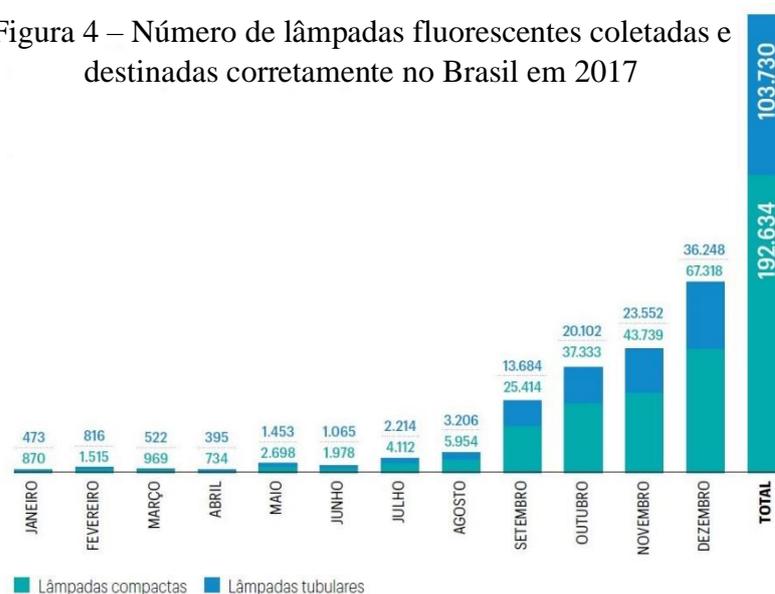
Figura 3 – Tipos de coletores Reciclus



Fonte: Reciclus, 2020

De acordo com o panorama da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) 2018/2019, em 2017, 296.364 lâmpadas foram destinadas de forma ambientalmente correta, por meio o Programa Reciclus. Desse montante, 65% (192.634) eram lâmpadas compactas e 35% (103.730), lâmpadas tubulares. O volume equivale, respectivamente, a 28.124,6 e 15.144,6 quilos. A Figura 4 ilustra estes valores.

Figura 4 – Número de lâmpadas fluorescentes coletadas e destinadas corretamente no Brasil em 2017

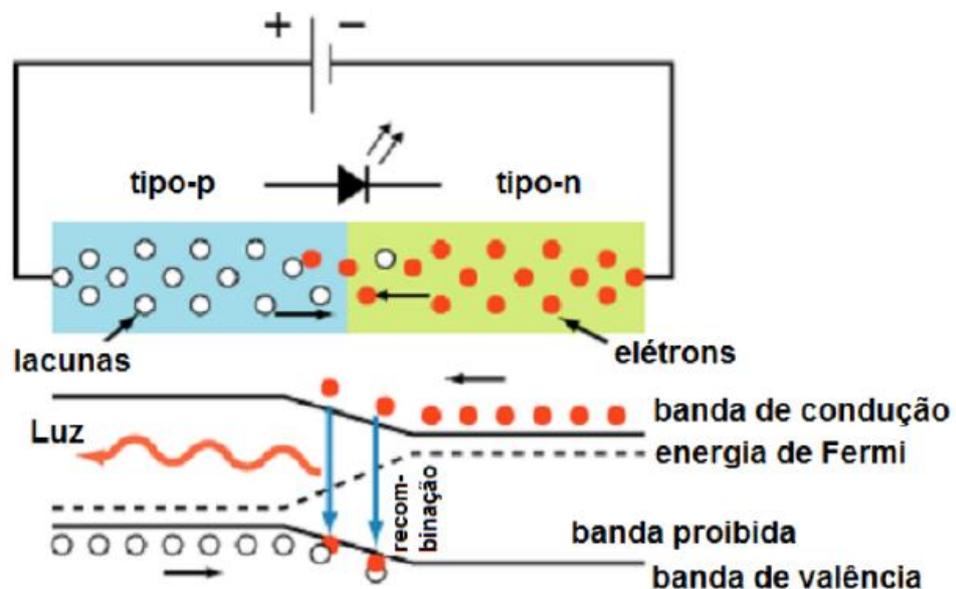


Fonte: Reciclus, 2017

### 3.2.2. Lâmpadas de LED

O diodo LED é um componente eletrônico semicondutor, que tem a propriedade de transformar energia elétrica em luz. Para seu funcionamento, o LED não precisa de reator externo, então, ao invés de utilizar filamentos metálicos que se desgastam, radiação ultravioleta, descarga de gases ou eletrodos com números limitados de partidas, os LEDs produzem luz pelo movimento de elétrons e espaços vazios em um semicondutor, um material que permite um certo fluxo de eletricidade. Os elétrons se movem através da junção PN do semicondutor, sendo que o lado P dessa junção possui lacunas ou falta de elétrons, enquanto o lado N contém essencialmente cargas negativas, excesso de elétrons. À medida que o LED é polarizado, os elétrons se movimentam em direção à junção PN e se recombinam com as lacunas, assim emite-se a luz. Esse fenômeno é conhecido como eletroluminescência, o qual é a base de funcionamento de todos os LEDs (GOIS, 2008). O princípio operacional destas lâmpadas é apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Princípio operacional das lâmpadas de LED



Fonte: SILVA et al., 2014

Em relação às várias qualidades das lâmpadas de LED, pode-se ressaltar que, geralmente, elas não queimam repentinamente, como as lâmpadas incandescentes, mas vão se tornando mais fracas ao longo do tempo. Elas também não emitem luz infravermelha, não produzem muito calor, são resistentes a choques e vibrações, operam de forma eficaz em ambientes frios,

tamanho reduzido, variedade de cores, luz dirigida, dentre outras qualidades (LEELAKULTHANIT, 2014; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A princípio, os LEDs eram utilizados apenas para sinalização e indicação de estado de equipamentos eletrônicos, ou seja, seu fluxo luminoso era baixo, não sendo suficiente para ser aplicado em sistemas de iluminação geral. Com a sua evolução tecnológica, foi possível desenvolver técnicas para reduzi-los de tamanho, aumentar o fluxo luminoso e emitir luz branca. Assim, a lâmpada de LED se tornou uma alternativa real na substituição das lâmpadas tradicionais, proporcionando significativa economia de energia e ainda requerendo pouca manutenção devido sua longa vida útil (VASCONCELLOS; LIMBERGER, 2013)

### **3.2.2.1. Eficiência Energética**

A adoção de lâmpadas de LED é um bom método para aumentar a eficiência da iluminação e contribuir para a diminuição do consumo de energia (LEELAKULTHANIT, 2014).

Uma lâmpada incandescente transforma apenas 8% da energia que consome em luz. Uma lâmpada fluorescente aproxima-se dos 15%. Os LEDs, por outro lado, têm taxas de eficiência entre 30 e 50%, dependendo da tecnologia com que são produzidos. A eficiência luminosa do LED é em torno de 80 lm/W enquanto da lâmpada de mercúrio é apenas de 40,8 lm/W (RIBEIRO et al., 2012).

As lâmpadas de LED têm expectativa longa de vida, mais de 50.000 horas, enquanto a lâmpada de vapor de mercúrio tem, em média, 16.000 horas (PHILIPS, 2009), com isso, também há redução do custo de manutenção.

Em média, o preço de compra de uma lâmpada de LED comum é em torno de R\$35,00, enquanto uma lâmpada fluorescente custa entre R\$10,00 e R\$30,00, dependendo da potência. Embora o custo das LED seja mais alto quando comparado aos outros tipos de lâmpadas, este gasto será compensado pelo baixo custo de manutenção e pela maior durabilidade (INMETRO, 2016).

### **3.2.2.2. Impactos no Meio Ambiente**

Na cadeia produtiva de uma lâmpada de LED é possível que haja um potencial desequilíbrio entre o consumo inicial de energia - desde a extração dos elementos e materiais necessários para sua composição até obtenção do produto final - e a economia gerada pela utilização desta

tecnologia. Este fato levou várias instituições a empregarem análises do ciclo de vida para quantificar os impactos energéticos da produção de lâmpadas de LED (U.S. DOE, 2012).

A despeito do bônus ambiental oferecido pela maior eficiência de produtos de LED, estes não estão livres de impactos ambientais associados às várias fases de seu ciclo de vida. Porém, estes impactos são pouco conhecidos e dificilmente dimensionados.

Um possível impacto já percebido associado a utilização das LEDs é a poluição luminosa. Este tipo de poluição acontece quando há o uso excessivo e mal direcionado da iluminação artificial. Este fato pode alterar a cor e o contraste do céu durante a noite, ofuscando a luz natural das estrelas e influenciando no ciclo biológico de seres vivos. Deste modo, o uso excessivo de LEDs iniciado neste século, tem afetado o ambiente, a vida selvagem e a pesquisa astronômica (HENRIQUES; SANTOS, 2019).

Em contrapartida, Ferreira (2014) apresenta algumas vantagens ambientais significativas oferecidas pelas lâmpadas de LED. Esta tecnologia não contém metais pesados, o que o torna mais vantajoso por não conter elementos tóxicos ao meio ambiente e à saúde humana, além de possuir um ciclo de vida que necessita de menos energia e menos matéria prima em todas as etapas, de fabricação, uso e descarte.

É importante ressaltar também que os produtos que utilizam LED de luz branca normalmente não são construídos de uma única forma. Na maioria dos casos, o componente que contém o LED não é construído apenas na forma de uma lâmpada, mas no formato de uma luminária que contém em seu corpo um módulo a LED, projetado e fabricado especialmente para finalidades específicas. Vale dizer que, dependendo da função para que se utilizam essas lâmpadas ou luminárias a LED de luz branca, o resíduo deste produto deverá apresentar diferentes formas construtivas e materiais constituintes (ANDERSSON, 2005).

### **3.2.2.3. Descarte dos Resíduos**

Por ter alta durabilidade, a lâmpada de LED apresenta menor índice de descarte no meio ambiente — sem contar que todos os seus componentes podem ser reciclados. Ao final da vida útil, o produto poderá seguir a logística reversa prevista para eletroeletrônicos, quando enviado para empresas especializadas no tratamento destes resíduos. Por estarem enquadradas nesta categoria, as lâmpadas de LED necessitam de uma placa de circuito impresso (PCI) para seu

funcionamento, portanto quando descartadas necessitam de logística reversa obrigatória prevista pela PNRS. (BRASIL, 2010).

Os materiais ou elementos que compõem o LED são considerados críticos, como alguns elementos terra raros, citando 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, estes materiais considerados críticos são utilizados a partir de combinações de pequenas quantidades. Neste sentido, considerando questões como consumo desenfreado de produtos contendo estes equipamentos, escassez de matérias primas, consumo energético, disposição de resíduos, e principalmente, a PNRS, o estudo de métodos de recuperação e reciclagem destes materiais, tornam-se de suma importância para o futuro do gerenciamento dos resíduos eletrônicos gerados (SANTOS et al., 2018).

Considerando que ainda não há um único processo de reciclagem capaz de recuperar todos os materiais valiosos presentes nas LED, a lâmpada deve ser desmembrada e cada tipo de material ser destinado ao seu tipo de reciclagem específica.

No Brasil, existem diversas empresas que fazem a coleta e o tratamento de resíduos eletroeletrônicos, citando mais precisamente na cidade de Belo Horizonte, tem-se a BHrecicla, a Organização Não Governamental (ONG) CDI Minas, Ampla Minas, além de pontos de recebimento de eletrônicos, os quais serão posteriormente enviados para reciclagem.

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1. Pesquisa Bibliográfica**

Com o intuito de cumprir os objetivos desta pesquisa, primeiramente, foi feita uma revisão bibliográfica abordando o cenário atual das lâmpadas estudadas, sua utilização, tempo de vida útil e, por fim, o tipo de descarte dado a elas. Este referencial foi feito a partir de mecanismos de pesquisa, como o Scholar e o Periódico Capes, buscando artigos relevantes sobre o assunto, bem como informações e dados registrados pela ABILUX.

Para descrever os impactos ambientais gerados pelo descarte inadequado dos resíduos de lâmpadas fluorescente e de LED, foi feita pesquisa em referências que abordam o tema, utilizando os mesmos recursos descritos no parágrafo anterior.

### **4.2. Coleta de dados**

Inicialmente, optou-se por escolher locais com características semelhantes, levando em consideração a área construída e o tipo de atividade desenvolvida, para efeito de comparação como, por exemplo, três complexos hospitalares e três instituições de ensino. Contudo, não foi possível colher os dados de todos os locais intencionados, pois não houve o retorno esperado.

Deste modo, a pesquisa seguiu com os dados, enfim, obtidos. Tais dados foram colhidos por meio de estudos de caso realizados em dois complexos hospitalares e em três instituições de ensino, situados na cidade de Belo Horizonte e na Unidade Administrativa do Estado de Minas Gerais. A escolha da unidade administrativa foi uma alternativa de amostra com características mais próximas aos locais previamente pretendidos. Os locais foram identificados por:

- L1 e L2: Complexo hospitalares
- L3, L4 e L5: instituições de ensino
- L6: Unidade Administrativa

O complexo hospitalar, identificado por L1, é de administração pública e conta com uma área de 68.010 m<sup>2</sup>, incluindo um prédio principal e sete anexos. Dentro do complexo existem 632 leitos de diferentes especialidades, conforme informado no sítio eletrônico oficial do hospital.

O complexo hospitalar, identificado por L2, também é de administração pública e conta com uma área de 28 mil m<sup>2</sup>, sendo 22 mil m<sup>2</sup> de área construída. O complexo possui, ao todo, 345

leitos de diferentes especialidades, de acordo com os dados mais recentes encontrados, do ano de 2011, retirados do sítio eletrônico oficial do hospital.

A instituição de ensino identificada por L3 é de administração pública e possui uma área total de 8.769.690 m<sup>2</sup> sendo 639.777 m<sup>2</sup> de área construída. De acordo com o sítio eletrônico da instituição, os dados apontam que, atualmente, existem 7.461 funcionários, dentre docentes e servidores técnico-administrativos. O número de estudantes é de 44.039, incluindo graduação, mestrado e doutorado.

A instituição de ensino L4 também é de administração pública e possui uma área total de 469.421,90 m<sup>2</sup>, sendo 196.442,34 m<sup>2</sup> de área construída. De acordo com o sítio eletrônico da instituição, os dados de 2017 apontam que estavam matriculados 16.932 alunos em todos os níveis de ensino, desde o nível técnico até doutorado. O número de funcionários era de 2.331, dentre docentes, técnico-administrativos e pessoal terceirizado.

Já a instituição de ensino L5 é de administração privada e conta com uma área total de 4.536.483 m<sup>2</sup>, sendo 296.026 m<sup>2</sup> de área construída. De acordo com o sítio eletrônico da instituição, os dados de 2019 apontam que estavam matriculados 73.945 alunos em todos os níveis de ensino. O número de funcionários era de 4.576 dentre docentes e técnico-administrativos.

A unidade administrativa do Estado de Minas Gerais, identificada por L6, conta com uma área total de 805 mil m<sup>2</sup>, sendo 265 mil m<sup>2</sup> de área construída. A unidade possui cerca de 15 mil funcionários. Estes dados são referentes ao ano de 2019 e foram obtidos no sítio eletrônico da unidade administrativa.

As fontes dos dados acima relatados não foram diretamente citadas com o intuito de resguardar o anonimato dos locais pesquisados.

A escolha desses locais se baseou no critério de utilização de lâmpadas em larga escala, uma vez que esses apresentam muitos prédios, o que implica em uma maior geração de resíduos. Entende-se que locais que estão em constante funcionamento, assim como os escolhidos, tendem a fazer maior uso de iluminação artificial, tornando interessante saber como é feito o manejo dos materiais durante e após a sua vida útil.

A princípio foi cogitada a hipótese de realização de visita técnica à pelo menos um dos locais e à uma empresa recicladora, a fim de conhecer melhor o processo de gerenciamento dos resíduos e o processo de reciclagem. Contudo, devido à pandemia do novo coronavírus, a visita tornou-se inviável. Desta forma, todas as informações necessárias para a análise objetivada foram solicitadas via e-mail e via contato telefônico. O contato foi realizado com os profissionais responsáveis pelos setores de engenharia e infraestrutura dos locais pesquisados. Foram aplicadas as seguintes perguntas em formato de questionário:

1. Qual tipo de lâmpada é utilizado em sua empresa/instituição (incandescente, fluorescente, LED ou outro)?
2. Em média, qual é o consumo mensal de lâmpadas?
3. Quanto tempo costuma durar o tipo de lâmpada utilizado?
4. Sempre utilizou este tipo de lâmpada?
5. Se houve a troca, qual o motivo? Há quanto tempo ocorreu a troca?
6. Considera este novo tipo de lâmpada mais econômico em relação ao anteriormente utilizado?
7. Você observa outros benefícios nessa troca de tipo de lâmpada utilizada?
8. Em média, quantas lâmpadas são descartadas mensalmente?
9. Como é feito o descarte dos resíduos após o fim de sua vida útil? Você considera que esse é o tipo de descarte mais adequado?
10. Caso não seja feito o descarte mais adequado, pretende investir nesta prática?

Cada pergunta teve por objetivo entender melhor o fluxo de utilização e manejo de lâmpadas dentro dos complexos estudados. A partir das perguntas 1 a 3, sobre o tipo de lâmpada utilizado, seu consumo e tempo de duração, em média, foi possível identificar a eficiência de tal tipo de lâmpada e compará-la às especificações técnicas.

As perguntas de 4 a 7 tiveram o objetivo de identificar se as empresas/instituições têm conhecimento de outros tipos de lâmpadas que podem apresentar maiores benefícios em relação as comumente utilizadas e se estas empresas/instituições já optaram por realizar a troca em busca destes benefícios.

Por fim, as perguntas de 8 a 10 tiveram o objetivo de entender como é feito o descarte das lâmpadas nos locais estudados, levando em consideração a quantidade descartada, visto que a

este fator pode influenciar no tipo de descarte. Além disto, estas últimas perguntas demonstrariam a preocupação das empresas/instituições com o descarte ambiental e legalmente correto.

A partir disto, foi possível entender a percepção de grandes empresas e instituições quanto à utilização das lâmpadas e à importância do descarte adequado.

#### **4.3. Análise Comparativa**

Após toda a pesquisa e coleta de informações, obteve-se embasamento suficiente para se realizar a análise quanto ao ganho ambiental proporcionado pelos dois tipos de lâmpadas (fluorescente e LED). Por meio de análise comparativa, foram trabalhadas as respostas dos locais para cada pergunta, comparando-as entre si.

Buscou-se dizer qual tipo de lâmpada oferece menor risco ao meio ambiente, isto é, qual tipo causa menor impacto ambiental, da utilização ao descarte. Esta comparação foi feita a partir da pesquisa sobre os impactos associados a cada tipo de lâmpada e por meio da percepção dos locais pesquisados acerca do assunto.

Outro ponto utilizado para fim de comparação foi a susceptibilidade de cada tipo de lâmpada à logística reversa, qual tipo oferece maior facilidade de reciclagem e de reintrodução na cadeia produtiva. Esta análise foi feita com base na revisão bibliográfica acerca das formas de reciclagem de cada tipo de lâmpada pesquisado.

Por fim, foi comparado entre os tipos de lâmpadas estudados, qual apresenta menor consumo energético e, conseqüentemente, gera menor gasto com energia elétrica. Esta análise foi feita a partir dos dados pesquisados sobre a eficiência energética de cada lâmpada e com base nas respostas do questionário, indicando a percepção dos locais pesquisados em relação ao consumo energético das lâmpadas.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1. Cenário Atual das Lâmpadas no Brasil**

Por meio da revisão bibliográfica observou-se que o histórico de iluminação no país tem evoluído de maneira consideravelmente boa e rápida, levando em conta que já foi proibida a comercialização de lâmpadas incandescentes, como forma de atender ao cronograma estabelecido pela Portaria Interministerial 1007 citada anteriormente. Esta busca por novas tecnologias ajudou a impulsionar a disseminação das lâmpadas de LED pelo país.

### **5.2. Impactos Ambientais dos Tipos de Lâmpadas Estudados**

Foram identificados os principais impactos ambientais associados a utilização e descarte dos tipos de lâmpadas pesquisados. Tomando como base a revisão bibliográfica, observou-se que ambas as lâmpadas podem oferecer riscos ao meio ambiente, mas, por serem resíduos perigosos, segundo a NBR 10004:2004, as lâmpadas fluorescentes apresentam um risco de contaminação consideravelmente maior.

Embora existam impactos ao longo da cadeia produtiva das lâmpadas, a maioria deles e os mais significativos, ocorrem principalmente no caso de descarte inadequado dos resíduos após o fim de sua vida útil. Neste quesito, as lâmpadas fluorescentes mostraram-se novamente mais contaminantes em relação as lâmpadas de LED, uma vez que a fluorescente possui vapor de mercúrio em sua composição, um componente altamente tóxico ao meio ambiente e aos seres vivos. O impacto negativo mais significativo associado a utilização de LEDs é a poluição luminosa, que pode provocar certo desequilíbrio na vida selvagem, principalmente no ciclo de vida dos insetos.

Quando observados os diferentes meios de descarte adequado dos resíduos de lâmpadas, percebe-se que as lâmpadas de LED apresentam maior facilidade nesta questão. Embora ainda não exista um processo de reciclagem apropriado à recuperação dos materiais valiosos presentes nas LED, estas ainda podem ser recicladas juntamente às lâmpadas comuns ou aos resíduos eletroeletrônicos, uma vez que não são consideradas resíduos perigosos. Por outro lado, as fluorescentes devem ser encaminhadas para uma empresa especializada apenas na reciclagem deste tipo de lâmpada. Além disto, o processo de reciclagem das fluorescentes é mais complexo, necessitando de maior controle durante a etapa de desmonte do equipamento, devido a presença de mercúrio gasoso e pó de fósforo em seu interior.

### 5.3. Estudos de Caso

Os dados obtidos por meio do questionário foram dispostos a seguir, relacionando-os com os respectivos locais.

Na Figura 6 foram apresentadas as respostas obtidas para a primeira pergunta, sobre o tipo de lâmpada utilizado. Percebe-se que, dos seis locais pesquisados, quatro deles ainda utilizam, em sua maioria, lâmpadas fluorescentes e a troca pela tecnologia LED está sendo feita à medida que as lâmpadas fluorescentes vão queimando. Ressalta-se que, em dois locais onde existem construções novas, já foi priorizada a instalação das lâmpadas de LED. Este resultado é esperado, uma vez que as lâmpadas fluorescentes ainda são amplamente utilizadas e, como a maioria dos locais possui instalações mais antigas, é comum que, no momento da construção, tenham sido instalados reatores compatíveis com as lâmpadas fluorescentes, pois era a tecnologia mais utilizada. Além disto, é natural que os locais com construções novas optem pela instalação de lâmpadas de LED, não só por ser uma tecnologia mais econômica e duradoura, mas também por não ser necessária a instalação de reatores.

Figura 6 – Quadro com as respostas à primeira pergunta

<b>Pergunta 1: Qual tipo de lâmpada é utilizado em sua empresa/instituição? (Incandescente, Fluorescente, LED, etc.)</b>					
<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L5</b>	<b>L6</b>
Lâmpada Tubular Fluorescente T8 - 32W Lâmpada Tubular Fluorescente T8 - 16W Lâmpada Bulbo Fluorescente Compacta - 23W	As lâmpadas fluorescentes foram substituídas pelas lâmpadas de LED no ano de 2019.	De maneira geral utilizamos lâmpadas fluorescentes e de LED. As fluorescentes estão sendo substituídas paulatinamente à medida em que apresentam defeito nos reatores ou se queimam. Não estão sendo realizados pregões para lâmpadas incandescentes. Alguma parte da iluminação pública ainda é feita com luminárias a vapor de sódio, que também está sendo substituído por LED sempre que possível.	Utilizamos lâmpadas LED, fluorescentes e de vapores. Nos prédios novos já são instaladas apenas lâmpadas LED.	As lâmpadas fluorescentes foram substituídas pelas LED nos anos de 2018 e 2019.	99% dos tipos de lâmpadas utilizadas são do tipo fluorescente. Temos ainda vapor metálico para iluminação externa e LED para parte de iluminação cênica do Auditório que antes era totalmente incandescente.

Fonte: A Autora (2020)

Na Figura 7 foram apresentadas as respostas à segunda pergunta do questionário, sobre o consumo médio mensal de lâmpadas na empresa/instituição. Esta pergunta foi interpretada de maneira diferente por cada local, uma vez que L1 respondeu em kWh e os locais L4 e L6 responderam em quantidade de lâmpadas. O local L3 não possui estes dados disponíveis e os locais L2 e L5 não responderam.

Visto que, dos locais que responderam à segunda pergunta, nenhum utiliza, em sua maioria, a lâmpada com tecnologia LED e considerando ainda que a intenção da pergunta era saber qual o consumo energético mensal, não foi possível fazer a comparação deste quesito baseado no questionário aplicado. Contudo, a partir da revisão bibliográfica presente no escopo desta pesquisa, é possível inferir que as lâmpadas de LED possuem maior eficiência energética quando comparada as fluorescentes, pois possui uma vida útil maior e consome menos energia.

Figura 7 – Quadro com as respostas à segunda pergunta

<b>Pergunta 2: Em média, qual é o consumo mensal de lâmpadas?</b>					
<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L5</b>	<b>L6</b>
74.190,92 kWh em todo complexo hospitalar	Não houve resposta	Não temos esse dado disponível.	Em média, 170 lâmpadas/mês/unidad e. (11 unidades = 1870 lâmpadas/mês)	Não houve resposta	Temos em torno de 500 a 1000 lâmpadas por mês.

Fonte: A Autora (2020)

Já na Figura 8 foram apresentadas as respostas referentes ao tempo de duração do tipo de lâmpada utilizado. Os locais L1 e L3 responderam de acordo com o que é informado pelo fabricante, não sendo possível saber se, na prática, as lâmpadas têm a duração prometida, levando em consideração os diferentes usos. Quanto aos locais L4 e L6, foi informado o tempo de duração real com base nas trocas efetuadas. Embora L6 tenha uma área construída maior que L4, é esperado que L4 tenha um tempo de duração menor, uma vez que o tipo de uso é mais frequente, estando as lâmpadas acesas por mais tempo. Os locais L2 e L5 não responderam.

Figura 8 – Quadro com as respostas à terceira pergunta

<b>Pergunta 3: Quanto tempo costuma durar o tipo de lâmpada utilizado?</b>					
<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L5</b>	<b>L6</b>
Consultando o manual, a vida útil de uma lâmpada fluorescente é de aproximadamente 15000 horas. A vida útil da lâmpada LED é 25000 horas.	Não houve resposta	As lâmpadas fluorescentes duram em média 10000 horas (1 ano) e as LED estão sendo compradas com garantia mínima de 25000 horas (2,5 anos). Algumas luminárias LED estão sendo compradas com garantia de 50000 horas (5 anos).	De 1 a 2 anos, em média.	Não houve resposta	Tivemos um aumento no volume de troca após 7 anos de operação do complexo. Mas esse tipo de lâmpada tem em média uma duração de 5 anos.

Fonte: A Autora (2020)

Na Figura 9 foram apresentadas as respostas à quarta pergunta. Observa-se que aqueles locais que não utilizam a tecnologia LED em sua totalidade (L1, L3, L4 e L6) já estão providenciando a troca à medida que as lâmpadas antigas vão queimando. Os locais L2 e L5 já utilizam apenas LED. Estas respostas refletem o cenário atual do setor de iluminação no país, onde as lâmpadas de LED vem sendo cada vez mais utilizadas devido aos seus diversos benefícios.

Figura 9 – Quadro com as respostas à quarta pergunta

<b>Pergunta 4: Sempre utilizou este tipo de lâmpada?</b>					
<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L5</b>	<b>L6</b>
Sim. Em poucos locais já estamos utilizando LED.	Desde o fim de 2019.	Como foi respondido anteriormente, as lâmpadas estão sendo substituídas paulatinamente por tecnologia LED.	Desde 2018 estamos substituindo as fluorescentes que queimam por LED, as de vapores continuam a ser utilizadas.	Desde 2018.	Devido a uma característica dos tipos de luminárias e o sistema de automação, não temos tecnologia para trocar o tipo de lâmpada a qual sempre utilizamos. Temos a exceção do Auditório, onde as lâmpadas foram substituídas por LED.

Fonte: A Autora (2020)

Foram apresentadas as respostas à quinta pergunta, sobre a troca de um tipo e lâmpada pelo outro, na Figura 10. Em L2 e L5 já foi realizada a troca total das lâmpadas fluorescentes pelas lâmpadas de LED, tendo ocorrido de 1 a 2 anos atrás. Os locais L1, L3, L4 e L6 estão em processo de troca, tendo iniciado entre 2 e 3 anos atrás. As justificativas para troca baseiam-se na eficiência energética apresentada pela tecnologia LED e na facilidade de manutenção e descarte da lâmpada eletrônica. O local L1 também informou que a troca entre as lâmpadas em todo o complexo irá iniciar ainda este ano, em projeto de eficiência energética da Cemig, que prevê ações de incentivo à mudança de hábitos e substituição de equipamentos ineficientes por outro mais modernos. Estas impressões confirmam a ideia de que as lâmpadas de LED são uma tecnologia promissora no setor de iluminação, garantindo uma eficiência maior em relação a outros tipos lâmpadas e contribuindo para práticas de descarte de maneira fácil e adequada.

Figura 10 – Quadro com as respostas à quinta pergunta

<b>Pergunta 5: Se houve a troca, qual o motivo? Há quanto tempo ocorreu a troca?</b>					
<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L5</b>	<b>L6</b>
Em poucos locais onde passaram por obras recentemente, já são utilizadas as lâmpadas de tecnologia LED. As obras que aconteceram num horizonte de 3 anos até o momento atual. Nos outros locais, haverá substituição das lâmpadas fluorescentes e seus reatores eletrônicos por lâmpadas de tecnologia LED, que começará ainda este ano, em projeto de eficiência energética da Cemig.	A troca foi finalizada no fim do ano de 2019.	A troca está sendo feita para redução de gasto energético e de redução de custos de manutenção. A substituição por LED se iniciou há aproximadamente dois anos e meio.	Desde 2018, pois as LED consomem menor energia, no geral a vida útil é maior e o descarte é mais fácil se comparado as fluorescentes.	A troca foi feita nos anos de 2018 e 2019 devido ao Programa de Sustentabilidade Institucional.	Tivemos a troca somente no Auditório JK., principalmente pelo consumo de energia e pela redução do custo de manutenção nas trocas.

Fonte: A Autora (2020)

Na Figura 11 foram apresentadas as respostas à sexta pergunta sobre a perspectiva dos locais acerca da economia apresentada pelo novo tipo de lâmpada empregado. Dos locais que responderam à pergunta, todos consideram a lâmpada de LED mais econômica em relação a fluorescente. Com base nesta percepção, constata-se que de fato a tecnologia LED entrega a eficiência prometida e tem gerado economia aos locais.

Figura 11 – Quadro com as respostas à sexta pergunta

<b>Pergunta 6:</b> Considera este novo tipo de lâmpada mais econômico em relação ao anteriormente utilizado?					
<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L5</b>	<b>L6</b>
Sim.	Não houve resposta	Sim.	Sim, é mais econômico.	Não houve resposta	Sim. A lâmpada anterior era do tipo PAR 30 de 100W. Hoje utilizamos PAR 30 LED dimerizável de 20W.

Fonte: A Autora (2020)

Na Figura 12 foram apresentadas as respostas à sétima pergunta, sobre outros benefícios observados no novo tipo de lâmpada utilizado. Os locais L1, L3 e L6 ressaltaram o fato de que a tecnologia LED exige menos manutenção, devido a sua vida útil maior, reduzindo os custos com mão de obra. O local L4 indicou como benefício a facilidade de instalação e o fato de que as lâmpadas de LED não necessitam de reator externo, componente que geralmente queima antes das lâmpadas. Destaca-se que o local L1 foi o único a considerar como benefício o fato de que as lâmpadas de LED trazem menos impactos ao meio ambiente, por serem compostas, quase que inteiramente, por elementos recicláveis e não poluentes. Embora as lâmpadas fluorescentes também possuam quase todos os componentes recicláveis, ela apresenta o agravante de conter substâncias tóxicas, assim como descrito na revisão bibliográfica. Além disto, L1 ressaltou que as LED apresentam menor índice de descarte e aquecem menos o ambiente, reduzindo também os gastos com o ar-condicionado. Os locais L2 e L5 não responderam.

Diante destas percepções, observa-se que os usuários de lâmpadas têm conhecimento e valorizam os benefícios e vantagens apresentados pela tecnologia LED. Tais benefícios apontados foram também considerados por Ferreira (2014), citado na revisão bibliográfica, indicando uma correspondência entre as informações.

Na revisão bibliográfica também foram apontados outros benefícios da lâmpada de LED que não foram mencionados pelos respondentes. Leelakulthanit, Lamberts, Dutra e Pereira (2014), ressaltam que, geralmente, elas não queimam repentinamente, como as lâmpadas incandescentes, mas vão se tornando mais fracas ao longo do tempo. Elas também não emitem luz infravermelha, não produzem muito calor, são resistentes a choques e vibrações, operam de forma eficaz em ambientes frios, têm tamanho reduzido, variedade de cores, luz dirigida, dentre outras qualidades.

Figura 12 – Quadro com as respostas à sétima pergunta

<b>Pergunta 7: Você observa outros benefícios nessa troca de tipo de lâmpada utilizada?</b>					
<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L5</b>	<b>L6</b>
Menor consumo de energia elétrica e maior vida útil. A lâmpadas LED são as que menos trazem impactos à natureza por vários motivos: têm estrutura quase que inteiramente reciclável, são descartadas com menor frequência, não aquecem o ambiente e, portanto, diminuem o consumo de ar-condicionado, além de não conterem elementos poluentes. Apesar de exigir um investimento maior, haverá redução na conta de luz e redução em gastos em mão de obra de manutenção para substituição das mesmas.	Não houve resposta	Redução do custo de manutenção, pois mobiliza menos mão de obra.	Sim, é mais fácil de instalar e não necessita de reator externo, que geralmente queima mais rápido que as lâmpadas.	Não houve resposta	Devido a vida útil muito maior, o custo de manutenção foi reduzido, desta forma também há menor indisponibilidade do prédio para realização da manutenção.

Fonte: A Autora (2020)

Na Figura 13 foram apresentadas as respostas à oitava pergunta, sobre a quantidade de lâmpadas descartadas mensalmente. Observa-se que, em todos os locais que responderam, a quantidade descartada é consideravelmente alta, o que confirma que os locais são grandes geradores de resíduos de lâmpadas. Este fato reforça a necessidade de que grandes empresas/instituições devem se comprometer a realizar o descarte adequado destes resíduos, evitando que haja uma alta descarga de contaminantes no meio ambiente. Ressalta-se que não só grandes empresas/instituições devem adotar esta prática, mas todo fabricante, distribuidor, importador e comerciante de lâmpadas também deve assumir o compromisso de eliminar o resíduo da maneira correta, assim como imposto no artigo 33 da PNRS, citado anteriormente.

Figura 13 – Quadro com as respostas à oitava pergunta

<b>Pergunta 8:</b> Em média, quantas lâmpadas são descartadas mensalmente?					
<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L5</b>	<b>L6</b>
Lâmpada Tubular Fluorescente T8 - 32W - 400 Unidades	No momento não temos nenhuma lâmpada para descartar. Quando eram utilizadas lâmpadas fluorescentes, o descarte era feito semestralmente, mas a média mensal era em torno de 200 lâmpadas.	Nossa capacidade de descarte é de aproximadamente 4000 unidades/mês.	No ano de 2019 foram cerca de 416 lâmpadas mensalmente. Provavelmente em 2020 este número será menor, pois grande parte já foi substituída pela tecnologia LED.	Não houve resposta	Pelo contrato de manutenção, são realizados descartes a cada 3 meses, com uma média de 3000 unidades.

Fonte: A Autora (2020)

Já na Figura 14 foram apresentadas as respostas à nona pergunta, sobre a forma como é feito o descarte das lâmpadas após o fim de sua vida útil. Todos os locais informaram que as lâmpadas são descartadas por meio de empresa especializada no recolhimento, tratamento e disposição adequada do resíduo. Todos responderam em relação às lâmpadas fluorescentes, pois são as lâmpadas que foram ou estão sendo substituídas no momento. Como as lâmpadas de LED foram instaladas em um horizonte máximo de 3 anos, estas ainda não foram descartadas. Todos os locais consideraram este tipo de descarte o mais adequado. Este resultado condiz com o esperado, pois acredita-se que tanto as empresas/instituições pesquisadas quanto qualquer outra empresa deve ser comprometida com as legislações ambientais e com a preservação do meio ambiente. Isto retoma também a obrigação imposta no artigo 33 da PNRS, onde é estabelecido que os resíduos de lâmpadas devem seguir o processo de logística reversa. Lembrando que o Programa Reciclus pode ser uma alternativa para descarte adequado das lâmpadas, uma vez que o serviço de logística reversa oferecido por ele também pode ser contratado por entidades jurídicas, já que a coleta gratuita é realizada apenas para usos domésticos.

Em contato feito com o representante de uma das instituições, foi mencionado por ele que, inicialmente, tentava-se realizar o descarte por meio de associações de catadores, em atendimento ao Decreto nº 5940/06. Contudo, as associações não aceitavam as lâmpadas fluorescentes pois elas são de difícil reciclagem e não gerava renda aos catadores. Além disto, as lâmpadas fluorescentes são resíduos perigosos e demandam um tratamento específico, o qual é oferecido apenas por empresas especializadas. Este fato corrobora com a afirmação feita anteriormente, de que as lâmpadas fluorescentes apresentam técnicas complexas de reciclagem, fator este que contribuiu para a busca de uma tecnologia de fácil manejo.

É válido ressaltar que o local L2 fez uma descrição completa do procedimento realizado para o descarte dos resíduos de lâmpadas fluorescentes, adotando as medidas necessárias para assegurar o armazenamento e transporte seguro do material. Isto demonstra a preocupação do local em garantir a destinação adequada dos resíduos e consequentemente evitar uma possível contaminação do meio ambiente.

Figura 14 – Quadro com as respostas à nona pergunta

<b>Pergunta 9:</b> Como é feito o descarte dos resíduos após o fim de sua vida útil? Você considera que este tipo de descarte é o mais adequado?					
<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L5</b>	<b>L6</b>
As lâmpadas substituídas são colocadas em contêineres. Há uma empresa terceirizada que faz o descarte de todas as essas seguindo todas as normas cabíveis.	As lâmpadas fluorescentes ao fim de sua vida útil eram armazenadas dentro de uma caixa específica para acondicionar este tipo de resíduo. A caixa fica dentro do abrigo de resíduos químicos. Quando as caixas atingem o seu limite máximo, a empresa responsável pela coleta é acionada para recolhimento do resíduo. Para o transporte deste resíduo é gerada um MTR no site da FEAM para acompanhamento do resíduo durante o seu transporte. Considero este tipo de tratamento adequado, pois as lâmpadas passam por um processo de descontaminação.	O descarte é feito através de empresa especializada contratada para tal, a qual toma os cuidados necessários para que não haja dispersão de contaminantes no ambiente. Consideramos este descarte adequado.	Atualmente, o descarte é realizado através de contratação de empresa especializada no tratamento e destinação final deste tipo de material. Sim, considero o mais adequado.	As lâmpadas fluorescentes dispostas no abrigo de resíduos perigosos foram encaminhadas para descontaminação e reciclagem em empresa licenciada.	Contratualmente como obrigação da empresa de manutenção, a mesma deverá contratar empresa especializada para realização do descarte das lâmpadas.

Fonte: A Autora (2020)

Por fim, na Figura 15, foram apresentadas as respostas à décima pergunta, sobre a pretensão de investimento no descarte adequado das lâmpadas usadas. Todos os locais já investem no descarte mais adequado.

Figura 15 – Quadro com as respostas à décima pergunta

<b>Pergunta 10:</b> Caso não seja feito o descarte mais adequado, pretende investir nesta prática?					
<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L5</b>	<b>L6</b>
Respondido no item anterior.	Não se aplica.	Já investimos nesta prática.	É feito o descarte mais adequado.	Não houve resposta	O descarte já realizado de forma correta.

Fonte: A Autora (2020)

Analisando o questionário como um todo, percebe-se que todos os locais pesquisados se mostraram bastante criteriosos quanto à gestão dos resíduos de lâmpadas, mantendo os dados armazenados e sistematizados. Isto demonstra profissionalismo e preocupação com o manejo correto dos resíduos gerados. Além disto, a manutenção de dados atualizados contribui com o monitoramento dos usos, podendo indicar possibilidades de melhora, como a busca por tecnologias mais eficientes, de fácil manejo e que não apresentem grandes riscos ao meio ambiente.

## 6. CONCLUSÃO

No que tange os objetivos deste estudo, este conseguiu apresentar o cenário atual dos tipos de lâmpadas utilizados na região metropolitana de Belo Horizonte, mostrando que as lâmpadas fluorescentes ainda são amplamente utilizadas, mas que a tecnologia LED tem ganhado espaço no setor de iluminação.

Com relação aos impactos ambientais associados a utilização e descarte dos tipos de lâmpadas estudados, a pesquisa indicou que as lâmpadas fluorescentes possuem um potencial maior de contaminação do meio ambiente, no caso de descarte inadequado, devido a presença de substâncias tóxicas em sua composição, citando o mercúrio e o pó de fósforo. Este fato confere a estas lâmpadas a característica de resíduo perigoso, de acordo com a NBR 10004:2004, devendo ser encaminhadas a empresas especializadas no tratamento e destinação destes resíduos. Embora as lâmpadas de LED também necessitem de tratamento especializado, estas não carregam metais pesados e, portanto, não são consideradas resíduos perigosos.

Os estudos de caso realizados nos seis locais contribuíram para confirmação das vantagens apresentadas pela tecnologia LED em relação as lâmpadas fluorescentes convencionais. Levando em consideração que os locais escolhidos são grandes usuários, isto é, utilizam grandes quantidades de lâmpadas, estes conseguiram transmitir uma percepção real e prática da superioridade das LED frente as fluorescentes. Os estudos de caso contribuíram também para a sistematização e disponibilização de informações relevantes para comparação entre as lâmpadas fluorescentes e de LED, que não foram encontradas na literatura durante a pesquisa bibliográfica.

Vale ressaltar que o retorno dos respondentes ao questionário aplicado foi, em alguns momentos, demorado e em dois casos ainda houve ausência de respostas. Este fato limitou o alcance de conclusões mais precisas sobre alguns quesitos. Outro fato que inviabilizou a obtenção de maiores informações foi a pandemia do novo coronavírus, que impossibilitou as visitas técnicas.

Por fim, com base na pesquisa bibliográfica realizada e nos estudos de caso, evidenciou-se que as lâmpadas de LED apresentam maior eficiência energética, necessitando de menos energia para produção de luz e possuem maior vida útil. Estas características contribuem para uma menor utilização de recursos, gerando um ganho ambiental. Além disto ainda há a economia

financeira com energia elétrica. Outro ganho ambiental apresentado pela lâmpada de LED foi o fato desta não ser composta por metais pesados e o seu processo de reciclagem ser mais simplificado, podendo ser realizado junto aos resíduos eletroeletrônicos.

## **7. RECOMENDAÇÕES**

Tendo em vista a proposta do estudo, de análise do ganho ambiental das tecnologias, considera-se de suma importância a continuidade da pesquisa acerca dos impactos ambientais associados ao ciclo de vida das lâmpadas de LED, em especial aqueles provenientes do descarte inadequado. Estes impactos ainda são pouco conhecidos pois ainda não houve grandes descartes de LED no ambiente, devido a sua maior vida útil. Contudo, em breve estes possíveis impactos podem começar a ser evidenciados.

Também pode ser interessante a realização de uma pesquisa mais direcionada aos benefícios econômicos da tecnologia LED, buscando dados quantitativos de custos com a compra e com a destinação correta dos resíduos.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 10004 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro 2004.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**. São Paulo. Novembro 2019.

ANDERSSON, E. **Hazardous Substances In Electrical And Electronic Equipment (Eee)** - Expanding The Scope Of The Rohs Directive, Project Report, Department of Applied Environmental Science at Göteborg University. 2005

APLIQUIM BRASIL RECICLE. **Programa recicla lâmpada**. 2020. Disponível em: <<http://www.apliquimbrasilrecicle.com.br/reciclalampadas#:~:text=O%20custo%20da%20reciclagem%20varia,e%20ofertas%20de%20cada%20loja.>> Acesso em: 02 dez. 2020

BARGHINI, A. **Influência da iluminação artificial sobre a vida silvestre: técnicas para minimizar os impactos, com especial enfoque sobre os insetos**. 2008. Tese (Doutorado em Ecologia: Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: 10.11606/T.41.2008.tde-13062008-100639. Acesso em: 18 set. 2019.

BRANDÃO, A. C.; GOMES, L. M. B.; AFONSO, J. C. **Educação Ambiental: O caso das lâmpadas usadas**. Instituto de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2011

BRASIL, Lei N° 12.305 de 02 de agosto de 2010. **Dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**, Brasília, DF, ago. 2010.

CEMPRE - COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Cadernos de Reciclagem nº 58 – A Contribuição da Indústria**. Ano IX. Rio de Janeiro. Julho/Agosto/2001

CETRIC - CENTRAL DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E COMERCIAIS . 2012. Disponível em: <<http://www.cetric.com.br/index.php?PG=opl>>. Acesso em: 20 out. 2019

CLDC - CITY LIGHTS DESIGN COMPETITION. **A Brief History of Street Lighting in New York City**. 2005. Disponível em: [www.nyc.gov](http://www.nyc.gov) Acesso em: 26 set. 2019

CREPALDI, J. A.; FRIGATTI, M. F.C.; LUCKOW, R. **Análise da Vida Útil de Lâmpadas Fluorescentes Utilizando Diferentes Tipos de Circuitos de Préaquecimento**. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Elétrica, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

FERREIRA, J. Z. **Estudo Comparativo entre Lâmpadas Fluorescentes Tubulares T8 e Tubulares de LED**. 2014. 59 f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis), Universidade Tecnológica Federal do Paraná –Departamento Acadêmico de Construção Civil, Curitiba, 2014.

GASSMANN, A.; ZIMMERMANN, J.; GAUß, R.; STAUBER, R.; GUTFLEISCH, O. **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: 28 out. 2019

HENRIQUES, A.; SANTOS, J. **Influência da poluição luminosa nos insetos**. 27º Concurso de Jovens Cientistas. Mostra Nacional de Ciências. 2019

INEE - INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Eficiência energética – por que desperdiçar energia?** Disponível em: <[http://www.inee.org.br/eficiencia\\_o\\_que\\_eh.asp?Cat=eficiencia#por\\_que](http://www.inee.org.br/eficiencia_o_que_eh.asp?Cat=eficiencia#por_que)>. Acesso em: 28 ago. 2019

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Lâmpadas LED**. 2016. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/cartilhas/lampada-led/lampadaled.pdf>> Acesso em: 02 de dez. 2020

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Eficiência energética e desempenho térmico de luminárias com lâmpadas a LED atraem projetos de inovação**. Disponível em: <[http://www.ipt.br/noticias\\_interna.php?id\\_noticia=438](http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=438)>. Acesso em: 28 ago. 2019.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3 ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás PROCEL, 2014, 366 p. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Livro%20-%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20na%20Arquitetura.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2019.

LEELAKULTHANIT, O. The factors affecting the adoption of LED Lamps. **International Business & Economics Research Journal**, v. 13, n. 4, p. 757-768, 2014.

LIU, W.; WANG, Z.; CHEN, Y. **Effects of monochromatic light on develop mental changes in satellite cell population of pectoral muscle in broilers during early post hatch period**. *Anatomical Record (Hoboken)*. v. 293, n. 8, p.1315-24, 2010.

LOPES, L. B., **Uma avaliação da tecnologia LED na iluminação pública**. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Fevereiro de 2014.

MARCHI, C. M. D. F. **Cenário mundial dos resíduos sólidos e o comportamento corporativo brasileiro frente à logística reversa**. *Perspectivas em Gestão & Conhecimento*, João Pessoa, v. 1, n. 2, p. 118-135, jul./dez. 2011.

MARTINS, C. H., CESTARI, W. Logística reversa de lâmpadas fluorescentes pós-consumo Estudo de caso: Sistema de armazenagem em uma instituição de ensino. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria**, v. 19, n. 3, set-dez. 2015, p. 124-135 *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM*

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – **Lâmpadas incandescentes saem do mercado a partir do dia 30 de junho**. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/web/guest/todas-as-noticias/-/asset\\_publisher/pdAS9IcdBICN/content/lampadas-incandescentes-saem-do-mercado-a-partir-do-dia-30-de-junho?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Ftodas-as-noticias%3Fp\\_p\\_id%3D101\\_INSTANCE\\_pdAS9IcdBICN%26p\\_p\\_lifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26p\\_p\\_col\\_id%3Dcolumn-1%26p\\_p\\_col\\_count%3D1%26\\_101\\_INSTANCE\\_pdAS9IcdBICN\\_cur%3D38%26\\_101\\_INSTANCE\\_pdAS9IcdBICN\\_keywords%3D%26\\_101\\_INSTANCE\\_pdAS9IcdBICN\\_advancedSearch%3Dfalse%26\\_101\\_INSTANCE\\_pdAS9IcdBICN\\_delta%3D30%26p\\_r\\_p\\_564233524\\_resetCur%3Dfalse%26\\_101\\_INSTANCE\\_pdAS9IcdBICN\\_andOperator%3Dtrue](http://www.mme.gov.br/web/guest/todas-as-noticias/-/asset_publisher/pdAS9IcdBICN/content/lampadas-incandescentes-saem-do-mercado-a-partir-do-dia-30-de-junho?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Ftodas-as-noticias%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_cur%3D38%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_keywords%3D%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_advancedSearch%3Dfalse%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_delta%3D30%26p_r_p_564233524_resetCur%3Dfalse%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_andOperator%3Dtrue)>. Acesso em: 30 out. 2020

- PINTO, R. A. **Projeto e implementação de lâmpadas para iluminação de interiores empregando diodos emissores de luz (LEDs)**. Santa Maria, 2008. 138p. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- PIRES, I. A. Conceitos Iniciais: Qualidade de Energia e Harmônicos. **Capítulo I. Revista O Setor Elétrico**, janeiro de 2010.
- POLONSKII, M., SEIDEL, A. **Reatores Eletrônicos para Iluminação Fluorescente**. Editora Unijuí 1. ed. Ijuí, 2008
- RAPOSO, C., ROESER, H. M., **Contaminação ambiental provocada pelo descarte de lâmpadas de mercúrio**. R. Esc. Minas, Ouro Preto, 53(1): 61-67, jan. mar. 2000
- RECICLUS. **Quem somos?** 2019. Disponível em: <<https://reciclus.org.br/quem-somos/>>. Acesso em: 01 nov. 2019
- RIBEIRO, A. C. C.; ROSA, H. C. P.; CORREA, J. D. S.; SILVA, A. V. O Emprego da Tecnologia Led na Iluminação Pública. **E-xacta**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 111-132. (2012). Editora UniBH. Disponível em: <[www.unibh.br/revistas/exacta/](http://www.unibh.br/revistas/exacta/)>\_Acesso em: 24 set. 2019
- RIBEIRO, M. A., RODRIGUES, C. R.B. S., SALVADOR, E. S., CASAGRANDE, C. G., PINTO, D. P., BRAGA, H. A. C. **Modernização de Sistemas de Iluminação de Interiores: Estudo de Caso de Substituição de Lâmpadas Fluorescentes Tubulares por Lâmpadas Tubulares À LED**. In: IV Congresso Brasileiro de Eficiência Energética – Juiz de Fora – MG – Brasil - 28 a 31 de Agosto de 2011
- SALVETTI, A. R. **A História da Luz**. Editora Universidade Federal Mato Grosso do Sul – UFMS, Campo Grande, 2008.
- SANTOS, E. C. A.; CAMACHO, A. L. D.; RAUBER, L.; MORAIS, C. A. M. **Desmontagem e Caracterização de Lâmpadas LED para Recuperação de Materiais**. 9º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. Porto Alegre, RS. 13-15 de junho, 2018.
- SANTOS, K. N. S.; LANA, G. L.; OLIVEIRA, J. A. P. **Manuseio e Descarte de Lâmpadas Fluorescentes**. DOI 10.14684/SHEWC.17.2017.167-172. **XVII Safety, Health and Environment World Congress**. July 09-12, 2017, Vila Real, Portugal
- SEBALOS, R.; MELO, F. X. Reciclagem e Descarte de Lâmpadas Fluorescentes. **Revista Diálogos Interdisciplinares**. 2019 vol. 8 n° 2 - ISSN 2317-3793
- SEBBEN, E. **Alto custo dificulta o descarte de lâmpadas**. 2012. Disponível em: <<http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2012/outubro/alto-custo-dificulta-o-descarte-de-lampadas-afirma?tag=rr>>. Acesso em: 15 out. 2019
- SILVA, F.C.; GOUVEA, M. P. T.; CASTRO, M. C. A.; SANTOS, G. S.; CARVALHO, C. C. M. M. **Qualidade de Energia Elétrica das Lâmpadas Fluorescentes Tubulares e Tubulares a LED**. Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. 2014
- TAN, Q. LI, J. A study of waste fluorescent lamp generation in mainland China. **Journal of Cleaner Production** v. 81, p. 227-233. 2014
- TEITEBAUM, F. P. **Avaliação de ciclo de vida de produtos pós consumo: caso das lâmpadas fluorescentes, uma análise comparativa**. Universidade federal do rio grande do sul. Porto Alegre, julho de 2015.
- U. S. DOE - UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. **Life-Cycle assessment of energy and environmental impacts of LED lighting products - Part I: Review of the life-**

**cycle energy consumption of incandescent, compact fluorescent, and LED lamps.**

Washington, 2012.46 p. Disponível em:

<[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/2012\\_LED\\_Lifecycle\\_Report.pdf](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/2012_LED_Lifecycle_Report.pdf)>. Acesso em: 23 out. 2019.

**VASCONCELLOS, L. E. M.; LIMBERGER, M. A. C. Iluminação Eficiente: Iniciativas da Eletrobrás PROCEL e Parceiros, 2013.**