

Universidade Brasil
Campus de Fernandópolis

SIENE DE FARIA RODRIGUES

SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES POR LEDs EM UMA
INSTITUIÇÃO DE ENSINO: UMA PREOCUPAÇÃO AMBIENTAL,
ENERGÉTICA E ECONÔMICA

REPLACEMENT OF FLUORESCENT LAMPS BY LEDs IN A TEACHING
INSTITUTION: AN ENVIRONMENTAL, ENERGETIC AND ECONOMIC CONCERN

Fernandópolis/SP

2017

Siene de Faria Rodrigues

SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES POR LEDs EM UMA
INSTITUIÇÃO DE ENSINO: UMA PREOCUPAÇÃO AMBIENTAL, ENERGÉTICA E
ECONÔMICA

Orientadora: Profa. Dra. Gisele Herbst Vazquez
Co-orientador: Prof. Dr. Josué Silva Morais

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, como complementação dos créditos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Fernandópolis/SP

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

R616s Rodrigues, Siene de Faria
 Substituição de lâmpadas fluorescentes por LEDs em
 uma instituição de ensino: uma preocupação ambiental,
 energética e econômica / Siene de Faria Rodrigues – Fer-
 nandópolis, 2017.
 82f. : il. ; 29,5cm.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciências Ambientais, da Universida-
de Brasil, como complementação dos créditos necessários
para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientadora: Prof^a Dra. Gisele Herbst Vazquez
Co-orientador: Prof. Dr. Josué Silva Morais

1. Resíduos sólidos. 2. Mercúrio. 3. Light-Emitting Diode.
I. Título.

CDD 363.728

Termo de Autorização

Para Publicação de Dissertações e Teses no Formato Eletrônico na Página WWW do Respectivo Programa da Universidade Brasil e no Banco de Teses da CAPES

Na qualidade de titular(es) dos direitos de autor da publicação, e de acordo com a Portaria CAPES no. 13, de 15 de fevereiro de 2006, autorizo(amos) a Universidade Brasil a disponibilizar através do site <http://www.universidadebrasil.edu.br>, na página do respectivo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, bem como no Banco de Dissertações e Teses da CAPES, através do site <http://bancodeteses.capes.gov.br>, a versão digital do texto integral da Dissertação/Tese abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira.

A utilização do conteúdo deste texto, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, fica condicionada à citação da fonte.

Título do Trabalho: **“SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES POR LED EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO: UMA PREOCUPAÇÃO AMBIENTAL, ENERGÉTICA E ECONÔMICA”**

Autor(es):

Discente: Siene de Faria Rodrigues

Orientadora: Gisele Herbst Vazquez

Assinatura: Siene de F. Rodrigues

Assinatura: Gisele Vazquez

Data: 22/novembro/2017

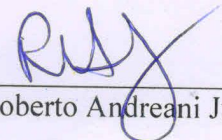
TERMO DE APROVAÇÃO

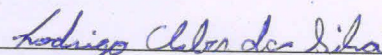
SIENE DE FARIA RODRIGUES

**SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES POR LED EM UMA
INSTITUIÇÃO DE ENSINO: UMA PREOCUPAÇÃO AMBIENTAL,
ENERGÉTICA E ECONÔMICA**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, pela seguinte banca examinadora:


Prof(a). Dr(a) Gisele Herbst Vazquez (Presidente)


Prof(a). Dr(a). Roberto Andreani Junior


Prof(a). Dr(a). Rodrigo Cleber da Silva

Fernandópolis, 22 de novembro de 2017.

Presidente da Banca Prof(a). Dr(a). Gisele Herbst Vazquez

À minha família, pelo apoio e força nesta longa caminhada. Pelos momentos de alegria e pela amizade incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela força e coragem para enfrentar os obstáculos e seguir sempre em frente.

A fé tem-me levado cada vez mais para os caminhos bons da vida pessoal e profissional.

A minha família, pelo apoio, compreensão e amor, que me deram forças e coragem para a longa jornada.

A minha orientadora, pela paciência e pela dedicação, que conduziu minha pesquisa e, com sua experiência, soube trazer novos conceitos para o meu aprendizado.

A meu co-orientador, pela sua figura sempre presente e prestativa.

A meus professores e amigos do curso, pela amizade, dedicação, compreensão e troca de experiências.

Ao coordenador do curso de pós-graduação, que contribuiu para minha formação e para meus conhecimentos.

Aos meus colegas de trabalho, que me apoiaram e me ajudaram nesta caminhada.

Aos funcionários da biblioteca da Universidade Federal de Uberlândia, pelos serviços prestados com dedicação e alegria.

A todos aqueles que contribuiram direta ou indiretamente para a realização e conclusão deste estudo e que, por algum momento, acreditaram que tudo seria possível.

A todos, muito obrigada.

A menos que modifiquemos nossa maneira de pensar não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.

Albert Einstein

SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES POR LEDs EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO: UMA PREOCUPAÇÃO AMBIENTAL, ENERGÉTICA E ECONÔMICA

RESUMO

A maioria das lâmpadas fluorescentes podem causar sérios problemas ambientais e à saúde humana. Tal fato se deve a presença de mercúrio em sua constituição e, quando descartadas inadequadamente, podem ocasionar a contaminação do solo, ar e água. Já as lâmpadas LEDs (*Light Emitting Diode*), além de mais econômicas e com maior vida útil que as fluorescentes, proporcionam maior luminosidade e, ao serem substituídas, não contaminam o meio ambiente. O objetivo deste estudo foi avaliar a substituição das lâmpadas fluorescentes pelas LEDs na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em Uberlândia/MG, analisando seu impacto ambiental e a viabilidade econômica e financeira. Concluiu-se que as lâmpadas LEDs sobressaem nos aspectos de manutenibilidade, durabilidade, eficiência energética, economia e menores impactos ambientais, podendo ser até duas vezes mais eficientes que as lâmpadas fluorescentes, além de não gerarem resíduos tóxicos. Diante desse cenário, constatou-se a viabilidade econômica e financeira para a substituição das lâmpadas fluorescentes por LEDs na UFU, pois, considerando-se uma amostra de 1.000 lâmpadas fluorescentes, projetou-se uma economia entre 55,7% a 80,8% no final de 13 anos. Não obstante, o que mais se destacou nessa experiência foi a importância da substituição do ponto de vista ambiental, por contemplar ações de sustentabilidade principalmente em uma instituição de ensino.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Mercúrio. Light-Emitting Diode.

REPLACEMENT OF FLUORESCENT LAMPS BY LEDs IN A TEACHING INSTITUTION: AN ENVIRONMENTAL, ENERGETIC AND ECONOMIC CONCERN

ABSTRACT

Most fluorescent lamps (FL) can cause serious environmental and human health problems. This fact is due to the presence of mercury in their constitution and, when discarded improperly, they can cause soil, air and water contamination. *Light Emitting Diode* (LED) lamps, in addition to being more economical and with longer life than fluorescent lamps, provide greater brightness and, when replaced, they do not contaminate the environment. The objective of this study was to evaluate the substitution of FL for LEDs at the Federal University of Uberlândia (UFU), in Uberlândia (Minas Gerais state, Brazil), by analyzing their environmental impact and economic and financial viability. It was possible to conclude that LED lamps stand out in terms of maintainability, durability, energy efficiency, economy and lower environmental impacts, becoming twice more efficient than FL and they do not generate toxic waste. In this scenario, it was verified the economic and financial viability for the substitution of FL for LEDs in UFU. Considering a sample of 1,000 FL, the projected economy was between 55.7% and 80.8% at the end of 13 years. However, what stood out most in this experience was the importance of replacing them from the environmental point of view, since it primarily contemplates sustainability actions in an educational institution.

Keywords: Solid waste. Mercury. Light-Emitting Diode.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Funcionamento da lâmpada fluorescente.	25
Figura 2 – Partes componentes de uma lâmpada de luz mista.	28
Figura 3 – Elementos básicos de uma lâmpada de vapor de mercúrio.	29
Figura 4 – Funcionamento interno de uma lâmpada LED.	31
Figura 5 – Organograma da logística reversa.	36
Figura 6 – Mapa da localização da cidade de Uberlândia/MG.	40
Figura 7 – Vista aérea da cidade de Uberlândia/MG.	42
Figura 8 – Universidade Federal de Uberlândia/MG - Campus Santa Mônica.	43
Figura 9 – Universidade Federal de Uberlândia/MG - Campus Umuarama.	44
Figura 10 – Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia/MG.	44
Figura 11 – Armazenamento de lâmpadas no depósito da UFU – visão superior.	54
Figura 12 – Armazenamento de lâmpadas em caixas abertas dentro do depósito da UFU.	55
Figura 13 – Armazenamento de lâmpadas fluorescentes da UFU/MG – visão lateral.	56
Figura 14 – Armazenamento de lâmpadas fluorescentes da UFU/MG – visão geral.	56
Figura 15 – Armazenamento de lâmpadas com outros resíduos no mesmo local.	58
Figura 16 – Lâmpadas de vapor de sódio.	59
Figura 17 – Custos da energia elétrica das lâmpadas fluorescentes e LEDs - cenários 1 e 2. .	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resíduos sólidos gerados por dia e por ano e suas respectivas coletas (2007-2014)	19
Tabela 2 – Quantidades e valores estabelecidos para o recolhimento do lixo em Uberlândia/MG	24
Tabela 3 – Classificação das lâmpadas fluorescentes	27
Tabela 4 – Comparativo custo/benefício entre as lâmpadas	32
Tabela 5 – Diferenças entre as lâmpadas fluorescentes e as lâmpadas LEDs	33
Tabela 6 – Quantidade de mercúrio existente por tipo de lâmpada	34
Tabela 7 – Sintomas da intoxicação aguda e crônica por mercúrio	35
Tabela 8 – Tecnologias utilizadas para descarte e reciclagem de lâmpadas fluorescentes	39
Tabela 9 – Lâmpadas descartadas no ano de 2014 nas unidades da UFU/MG	59
Tabela 10 – Lâmpadas descartadas no ano de 2015 nas unidades da UFU/MG	60
Tabela 11 – Orçamento dos serviços de retirada de lâmpadas inteiras e quebradas no ano de 2015 na UFU/MG	61
Tabela 12 – Lâmpadas descartadas no período de outubro de 2015 a julho de 2017 nas unidades da UFU/MG	61
Tabela 13 – Orçamento dos serviços de retirada de lâmpadas inteiras e quebradas no período de outubro de 2015 a julho de 2017 nas unidades da UFU/MG	63
Tabela 14 – Quantidade de lâmpadas previstas para substituição - cenário 1	66
Tabela 15 – Custos com mão-de-obra para substituição de lâmpadas fluorescentes e LEDs	66
Tabela 16 – Gasto anual com lâmpadas fluorescentes (LF) e LEDs em R\$ na UFU/MG - Cenário 1	68
Tabela 17 – Quantidade de lâmpadas previstas para substituição - cenário 2	69
Tabela 18 – Gastos das lâmpadas fluorescentes (LF) e das LEDs em R\$ na UFU/MG - Cenário 2	69
Tabela 19 – Comparativo de economia energética para a substituição de lâmpadas fluorescente por LEDs na UFU/MG – 2017 – Cenários 1 e 2	70
Tabela 20 – Economia anual com a troca das lâmpadas fluorescentes pelas lâmpadas LEDs	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABILUMI	Associação Brasileira de Importadores de Produtos de Iluminação
ABILUX	Associação Brasileira da Indústria de Iluminação
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
CI	Comitê Interministerial
g	Grama
h	Hora
Hg	Mercúrio
ICMS	Imposto Sobre Circulação de Mercadorias
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
K	Kelvin
kWh	Quilowatt-hora
L	Litro
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LF	Lâmpada fluorescente
m	Metro
mg	Miligrama
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RECICLUS	Associação de Empresas Produtoras e Importadoras de Lâmpada
SICAF	Sistema de Cadastramento Unificado de Fornecedores
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UEM	Universidade Estadual de Maringá
UFV	Universidade Federal de Viçosa
USP	Universidade de São Paulo
UV	Ultravioleta
V	Volt
VMP	Valor máximo permitido
W	Watts
µg	Micrograma

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos	17
1.1.1 Objetivo geral	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)	18
2.2 Leis federais.....	21
2.3 Leis estaduais.....	22
2.4 Leis municipais.....	23
2.5 Lâmpadas de descarga.....	24
2.5.1 Lâmpadas fluorescentes	24
2.5.1.1 Lâmpadas fluorescentes de partida rápida.....	27
2.5.2 Lâmpadas de descarga: luz mista.....	28
2.5.3 Lâmpadas de descarga a vapor de mercúrio	28
2.5.4 Lâmpadas de vapor de sódio.....	29
2.6 Lâmpadas LEDs.....	29
2.6.1 Comparativo entre as lâmpadas fluorescentes e as LEDs.....	31
2.7 Impactos causados pelo mercúrio contido nas lâmpadas fluorescentes.....	33
2.8 Logística reversa	35
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.1 Localização do estudo	40
3.2 Metodologia.....	44
3.2.1 Levantamento bibliográfico.....	45
3.2.2 Levantamento documental.....	45
3.2.3 Levantamento via <i>sites</i> de empresas, telefonemas e e-mails.....	46
3.2.4 Cálculo da substituição das lâmpadas	47
3.2.4.1 Análise da potência reativa na substituição das lâmpadas	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1 Projeto básico para gerenciamento de resíduos sólidos da Universidade Federal de Uberlândia/MG.....	51
4.2 Edital de licitação.....	52

4.2.1 Participação do processo de licitação.....	53
4.3 Descarte das lâmpadas fluorescentes na Universidade Federal de Uberlândia.....	53
4.4 Quantidade estimada de lâmpadas para descarte.....	59
4.5 Estudo econômico da substituição de lâmpadas fluorescentes pelas LEDs na Universidade Federal de Uberlândia.....	63
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
CONCLUSÃO.....	73
REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

A gestão ambiental e a eficiência energética são assuntos preponderantes na atualidade, haja vista que ambas buscam a utilização racional dos recursos naturais, visando à sustentabilidade. A eficiência energética consiste em obter o melhor desempenho na produção de um serviço com o menor gasto de energia. Exemplo dessa ação é a modernização de equipamentos e processos no sentido de reduzirem seu consumo, o que também contribui para a economia.

Em 17 de outubro de 2001, o Brasil editou a Lei nº 10.295, que dispunha sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia (BRASIL, 2001). A lei determinava que o poder executivo estabeleceria níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, com base em indicadores técnicos. Simultaneamente, incumbiria aos fabricantes e importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia a obrigação de adotar todas as medidas necessárias para a observância desses níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética, constantes da regulamentação específica estabelecida para cada tipo de máquina e aparelho.

Após a crise energética de 2001 no Brasil, a necessidade de redução de consumo de energia elétrica para evitar o racionamento impulsionou diversas ações e projetos vislumbrando a melhoria da eficiência no consumo de energia. Neste momento, as lâmpadas incandescentes, utilizadas de forma majoritária na iluminação artificial, passaram a ser substituídas pelas de descarga, dentre elas, as fluorescentes, mais eficientes e econômicas, que, devido à presença de mercúrio em sua constituição, se enquadram como resíduos sólidos perigosos, devendo ser tratadas de forma diferente na etapa de pós-consumo.

As lâmpadas incandescentes foram as primeiras a ser desenvolvidas, porém, apresentam baixa eficiência luminosa, vida média reduzida e alto custo de manutenção. Sua substituição pelas lâmpadas fluorescentes ocorreu gradativamente, principalmente nos setores públicos, e se intensificou após o apagão ocorrido no Brasil (RIBEIRO, 2010).

Em 1962, surgiu o *Light Emitting Diode* (LED), utilizado somente para sinalização devido à sua baixa emissão de luz, restrita gama de cores e baixa potência. Foi na década de 1990 que o LED azul foi inventado, o que possibilitou ser utilizado na iluminação. Assim, as lâmpadas LEDs, mais eficientes e mais econômicas, foram tomando lugar das lâmpadas fluorescentes (VIEIRA; SILVA, 2015).

Dessa forma, levando-se em consideração os problemas ambientais do uso de lâmpadas fluorescente e a baixa eficiência energética das lâmpadas incandescente e a sua retirada do mercado, as lâmpadas LEDs, por apresentarem vida útil e eficiência energética melhores que as lâmpadas de descarga atuais, passaram a ser largamente utilizadas.

O gerenciamento das lâmpadas no Brasil ainda é recente, porém, já existem projetos básicos em algumas instituições para a destinação e manuseio pós-consumo dessas lâmpadas, definindo-se pontos críticos de intervenção considerados como necessidades imediatas. Independentemente dos investimentos a serem feitos, o foco é a minimização de riscos de exposição e contaminação ao mercúrio dos trabalhadores e meio ambiente (COMINI et al., 2016).

Na tentativa de minimizar os impactos ao meio ambiente e à saúde dos seres vivos, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) reúne um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo governo federal. Isoladamente ou em regime de cooperação com os estados e municípios, visa à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos, conforme dispõe o art. 4º da PNRS (BRASIL, 2010a), o qual prioriza a articulação entre as diferentes esferas do Poder Público e destas com o setor empresarial, aspirando à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos (MARIANO et al., 2015).

Sendo as lâmpadas fluorescentes um resíduo tóxico devido ao mercúrio, a PNRS tem servido de parâmetro para futuras mudanças no processo de gerenciamento de lâmpadas dentro das instituições, pois se tem consciência de que a presença de mercúrio no corpo humano pode ocasionar grandes danos à saúde, lesionando principalmente os rins, fígado, aparelho digestivo e sistema nervoso central (SNC). Há, porém, grande preocupação com as características físico-químicas do mercúrio, que é complexa, e suas concentrações e fluxos não são somente altos, mas também muito variáveis e seu ciclo natural tem sido significativamente alterado por atividades antrópicas, o que o torna ainda mais perigoso para o meio ambiente e para a saúde do homem (ESTRELA; ROHLFS, 2014).

A grande preocupação de muitos estudiosos é analisar de que forma é executado o gerenciamento de lâmpadas pós-consumo nas instituições públicas de ensino superior, já que tais instituições são responsáveis pelo uso de grande número de lâmpadas e por conscientizar seus alunos para um consumo responsável e um descarte de resíduo sólido eficaz e eficiente.

Na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), localizada no estado de Minas Gerais, existe um gerenciamento pós-consumo contendo mercúrio, porém, há necessidade de se revê-lo. Antes de 2013, a prática na UFU era depositar as lâmpadas em aterros e lixões juntamente

com o lixo comum, o que agravava a poluição do meio ambiente. A partir de então, esses resíduos vêm sendo armazenados de forma inadequada em galpões alugados que não possuem a estrutura necessária para essa atividade. Nesses locais, encontram-se lâmpadas quebradas e acondicionadas em caixas até que a empresa terceirizada responsável pela destinação final e ambientalmente correta as recolha, o que aponta falhas no processo de gerenciamento.

Diante desse cenário, o presente trabalho se justifica pela necessidade de se analisarem os impactos ambientais e a viabilidade econômica e financeira para a substituição de lâmpadas fluorescentes dentro da UFU pelas LEDs. Para a realização deste estudo, foi necessário avaliar o processo atual de descarte de lâmpadas, os custos com a substituição e o seu reflexo na conta de energia elétrica.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo foi avaliar a substituição das lâmpadas fluorescentes pelas LEDs na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em Minas Gerais, analisando seu impacto ambiental e a viabilidade econômica e financeira.

1.1.2 Objetivos específicos

- Coletar informações sobre o sistema de compra, armazenamento e descarte de lâmpadas fluorescentes na Universidade Federal de Uberlândia/MG nos últimos três anos (2014-2016);
- Verificar a possível viabilidade econômica e financeira para a substituição das lâmpadas fluorescentes pelas *Light Emitting Diode* (LEDs) na Universidade Federal de Uberlândia/MG.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

É de extrema importância entender como tem sido a gestão de resíduos sólidos no Brasil, principalmente em relação à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e às leis que a regulamentam, pois se sabe que é através da PNRS que se estabelecem princípios, objetivos, diretrizes, metas e ações que contemplam o destino dos diferentes resíduos sólidos.

2.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

A PNRS foi criada pela Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, e regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010; criou como um dos seus principais instrumentos o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010a). O Decreto nº 7.404/2010 (BRASIL, 2010b) instituiu e delegou ao Comitê Interministerial (CI), composto por 12 órgãos e entidades governamentais e coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente, a responsabilidade de coordenar a elaboração e a implementação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos, conforme previsto na Lei 12.305/2010, tem vigência por prazo indeterminado e horizonte de 20 (vinte) anos, com atualização a cada 4 (quatro) anos, e contemplará um conteúdo mínimo:

- I - diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos;
- II - proposição de cenários, incluindo tendências internacionais e macroeconômicas;
- III - metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada;
- IV - metas para o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos sólidos;
- V - metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;
- VI - programas, projetos e ações para o atendimento das metas previstas;
- VII - normas e condicionantes técnicas para o acesso a recursos da União, para a obtenção de seu aval ou para o acesso a recursos administrados, direta ou indiretamente, por entidade federal, quando destinados a ações e programas de interesse dos resíduos sólidos;
- VIII - medidas para incentivar e viabilizar a gestão regionalizada dos resíduos sólidos;
- IX - diretrizes para o planejamento e demais atividades de gestão de resíduos sólidos das regiões integradas de desenvolvimento instituídas por lei complementar, bem como para as áreas de especial interesse turístico;
- X - normas e diretrizes para a disposição final de rejeitos e, quando couber, de resíduos;
- XI - meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito nacional, de sua implementação e operacionalização, assegurado o controle social (BRASIL, 2010a, Art. 15).

Visando diagnosticar os resíduos sólidos urbanos, foram utilizados três universos: o primeiro considera o país como unidade de análise, o segundo trabalha com as cinco regiões brasileiras e o último considera o porte do município, definido em função da população. Esta divisão possibilitou compreender a quantidade de resíduos sólidos gerados por região e por município, tornando a análise mais próxima possível da realidade em termos de Brasil (ABRELPE, 2014).

De acordo com Franceschi et al. (2017), há uma elevada quantidade de resíduos sólidos gerados todos os dias no Brasil; uma grande parte desses resíduos é coletada por empresas terceirizadas e a outra é descartada em aterros sanitários (Tabela 1).

Tabela 1 – Resíduos sólidos gerados por dia e por ano e suas respectivas coletas (2007-2014)

Ano	Geração t/dia	Coleta t/dia	Geração t/ano	Coleta t/ano
2007	168.653	140.911	61.558.345	51.432.515
2008	169.659	149.199	52.933.296	46.550.088
2009	182.728	161.084	57.011.136	50.258.208
2010	195.090	173.583	60.868.080	54.157.896
2011	198.514	177.995	61.936.368	55.534.440
2012	201.058	181.288	62.730.096	56.561.856
2013	209.280	189.219	76.387.200	69.064.935
2014	215.297	195.233	78.583.405	71.260.045

Fonte: Franceschi et al. (2017, p. 66) (Adaptada).

Atualmente, com o crescimento urbano desordenado das cidades brasileiras, o lixo produzido tem sido uma grande preocupação, principalmente quanto ao descarte de alguns resíduos sólidos como lâmpadas, pilhas e baterias. A busca por soluções para o gerenciamento adequado desses materiais tem-se constituído um desafio, tanto para o setor público quanto para o privado, principalmente quando o descarte envolve as lâmpadas fluorescentes (AGUILAR, 2015).

Segundo este autor, grandes quantidades de resíduos sólidos, principalmente de lâmpadas, pilhas e baterias, são descartadas todos os dias em solos e rios, o que contribui para o desequilíbrio do meio ambiente, causando doenças aos seres vivos e levando até mesmo à morte de alguns.

Dentre os resíduos sólidos produzidos em todo o mundo, a quantidade de lâmpadas descartadas incorretamente é volumosa, o que leva a se pensar no comprometimento pós-

utilização a ser assumido pelos fabricantes, importadores, revendedores e consumidores de lâmpadas.

A responsabilidade pós-consumo é um fator primordial para a redução de resíduos sólidos, por isso os fabricantes de produtos e embalagens devem comprometer-se com o ciclo integral daquilo que colocam no mercado e seus efeitos sobre o meio ambiente. Dessa forma, o produtor passa a ser o responsável pelo recolhimento de determinados produtos e embalagens após o uso, destinando de maneira ambientalmente correta os resíduos recolhidos (ARAÚJO, 2013).

Muitos resíduos são considerados perigosos, tendo composições químicas que podem alterar o curso normal do meio ambiente e afetar a vida dos seres humanos. Assim, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) traz, em suas normas, algumas colocações importantes sobre esses tipos de resíduos.

Segundo a NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004), um resíduo é considerado perigoso quando: a) suas propriedades físicas, químicas e infectocontagiosas representam risco para a saúde pública e para o meio ambiente; b) apresentar ao menos um dos cinco critérios de periculosidade: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

As lâmpadas fluorescentes, por possuírem mercúrio, metal que apresenta características de toxicidade e bioacumulação, são consideradas resíduos de altíssima periculosidade. Dessa forma, os cuidados com o armazenamento, transporte e destinação final devem ser rigorosos com o intuito de preservar o meio ambiente e prevenir que seres humanos e animais tenham contato com esse tipo de resíduo e sejam contaminados.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) pretende tornar o Brasil um modelo na gestão de resíduos sólidos. Ela estabelece a responsabilidade compartilhada pela destinação final e ecologicamente correta de produtos no pós-consumo. Isso significa que fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e poder público são igualmente responsáveis pelo destino correto dos resíduos, que devem ser reaproveitados, reciclados ou, apenas no caso de rejeitos, encaminhados para aterros sanitários (BRASIL, 2010a).

A Lei 12.305/2010, em seu Art. 1º, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dispôs sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010a). Os dois parágrafos do Art. 1º da lei determinam:

§ 1º Estão sujeitas à observância desta lei as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos.

§ 2º Esta lei não se aplica aos rejeitos radioativos, que são regulados por legislação específica (BRASIL, 2010a).

A PNRS (BRASIL, 2010a) estabelece que a responsabilidade dos resíduos sólidos, como as lâmpadas fluorescentes, seja compartilhada com os estados e municípios que, através de suas políticas públicas, gerenciam os serviços de limpeza urbana. O primeiro item a ser considerado no gerenciamento de tais resíduos é que sejam eles minimizados, o que reduzirá, automaticamente, o volume de resíduos e os impactos ambientais decorrentes do ciclo de vida desses resíduos. A PNRS estabelece, também, que seja elaborado um planejamento com o objetivo de reduzir os impactos durante a produção das lâmpadas e que esses resíduos sejam recolhidos pelo fabricante que aplicará a logística reversa para reaproveitar a matéria-prima das lâmpadas descartadas (MAIA et al., 2014).

Como os resíduos sólidos são constituídos de inúmeros produtos descartados que não têm mais qualquer utilidade para as pessoas que os descartam, gestores de empresas buscam provar que a reciclagem é possível em algumas situações e que esse processo, além de retirar grandes quantidades de resíduos do descarte total, contribui para a produção de matéria-prima a novos produtos, reduzindo o lixo e diminuindo os custos das empresas que, muitas vezes, ganham descontos na geração de novos produtos se os antigos forem oferecidos em troca (NASCIMENTO et al., 2015).

Apesar das leis, sabe-se que o descarte inadequado de lâmpadas fluorescentes ainda ocorre, e os impactos ambientais são, muitas vezes, irreversíveis, causando também danos à saúde humana. Leis federais, estaduais e municipais foram criadas e reforçadas nos últimos anos visando amenizar a situação e conduzir à gestão consciente e responsável, seja pelos consumidores ou pelos fabricantes, seja pelos importadores e revendedores que podem responder por crime ambiental e danos à saúde humana.

2.2 Leis federais

A Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos; as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos; as

responsabilidades dos geradores e do poder público; e os instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010a).

Ainda dentro dos domínios federais, o Art. 1º do Decreto 7.404, de 23 de dezembro de 2010 (BRASIL, 2010b), estabeleceu normas para execução da Política Nacional de Resíduos Sólidos, e seu artigo 2º articulou-se com as diretrizes nacionais para o saneamento básico e com a Política Federal de Saneamento Básico, nos termos da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007), com a Lei no 11.107, de 6 de abril de 2005 (BRASIL, 2005) e com a Política Nacional de Educação Ambiental, regulada pela Lei no 9.795, de 27 de abril de 1999 (BRASIL, 1999). Juntos, leis e decretos federais constituem-se em um conjunto de normas que auxiliam na preservação do meio e na redução de resíduos sólidos, como também contribuem para o destino final dos resíduos contaminantes.

2.3 Leis estaduais

Em Minas Gerais, algumas leis estaduais foram criadas com o intuito de promover ações de prevenção e controle dos resíduos sólidos.

A Lei Estadual nº 13.766, de 30 de novembro de 2000 (MINAS GERAIS, 2000a), dispõe sobre a política estadual de apoio e incentivo à coleta seletiva de “resíduos sólidos” e altera dispositivo da Lei nº 12.040, de 28 de dezembro de 1995 (MINAS GERAIS, 1995), que dispõe sobre a distribuição da parcela de receita do produto da arrecadação do Imposto Sobre Circulação de Mercadorias (ICMS) pertencente aos municípios, de que trata o inciso II do parágrafo único do art. 158 da Constituição Federal (BRASIL, 1988b).

A Lei Estadual nº 13.796, de 20 de dezembro de 2000, dispõe sobre o controle e o licenciamento dos empreendimentos e das atividades geradoras de resíduos perigosos no estado de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2000b).

A Lei Estadual nº 14.128, de 19 de dezembro de 2001, dispõe sobre a Política Estadual de Reciclagem de Materiais e sobre os instrumentos econômicos e financeiros aplicáveis à Gestão de Resíduos Sólidos (MINAS GERAIS, 2001a).

A Lei nº 14.129, de 19 de dezembro de 2001, estabelece condição para a implantação de unidades de disposição final e de tratamento de resíduos sólidos urbanos (MINAS GERAIS, 2001b).

A Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009, dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos, que envolve as políticas estaduais de meio ambiente, educação ambiental, recursos hídricos, saneamento básico, saúde, desenvolvimento econômico, desenvolvimento urbano e

promoção da inclusão social. Esta lei ainda desenvolve ações que, direta ou indiretamente, abrangem a geração e a gestão de resíduos sólidos e classifica os resíduos quanto à sua periculosidade (MINAS GERAIS, 2009).

A Lei nº 14.577, de 15 de janeiro de 2003 (MINAS GERAIS, 2003), altera a Lei nº 13.766, de 30 de novembro de 2000 (MINAS GERAIS, 2000a), que dispõe sobre a política estadual de apoio e incentivo à coleta seletiva de lixo. Da mesma forma, a Lei nº 21.421, de 16 de julho de 2014 (MINAS GERAIS, 2014a), altera a mesma Lei nº 13.766, de 30 de novembro de 2000, que dispõe sobre a política estadual de apoio e incentivo à coleta seletiva de resíduos sólidos. No entanto, a Lei 21.557, de 22 de dezembro de 2014 (MINAS GERAIS, 2014b), acrescenta dispositivos à Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009 (MINAS GERAIS, 2009), que dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos, com o objetivo de proibir a utilização da tecnologia de incineração nos casos que especifica.

2.4 Leis municipais

Decretos foram emitidos na cidade de Uberlândia com base nas leis federais e estaduais para o gerenciamento dos resíduos sólidos com o intuito de amenizar os resíduos descartados de forma inadequada no solo e rios. Com o Decreto nº 7.401, de 26 de setembro de 1997 (UBERLÂNDIA, 1997), fica evidente a regulamentação da responsabilidade de coleta, transporte, tratamento e destinação final de resíduos sólidos. O Decreto nº 9.323, de 07 de novembro de 2003 (UBERLÂNDIA, 2003b), altera o Decreto nº 9.152, de 29 de abril de 2003 (UBERLÂNDIA, 2003a), que "estabelece forma de repasse dos custos operacionais para destinação final de resíduos sólidos e especiais".

Considerando a necessidade de preservar o equilíbrio econômico e financeiro dos preços fixados para os grandes geradores de lixo e a mudança de atitudes desses agentes, o Prefeito de Uberlândia, conforme consta do próprio decreto, no uso de suas atribuições legais previstas no artigo 45, VII, da Lei Orgânica Municipal, e com fulcro nos artigos 14 e 145, da Lei Complementar nº 4.744, de 05 de julho de 1988, alterado pela Lei Complementar nº 171, de 23 de junho de 1997, e no Decreto Municipal nº 9.152, de 29 de abril de 2003, emitiu o Decreto nº 9.323/2003 (UBERLÂNDIA, 2003b), que altera as alíneas "a" e "b", do art. 3º e o art. 5º, do Decreto nº 9.152, de 29 de abril de 2003 (UBERLÂNDIA, 2003a).

As alterações se referem aos valores a serem repassados pelos estabelecimentos que geram resíduos sólidos e especiais para que a prefeitura municipal possa fazer a destinação

correta desses lixos, sendo os valores cobrados por tonelada gerada diariamente durante o mês (Tabela 2).

Tabela 2 – Quantidades e valores estabelecidos para o recolhimento do lixo em Uberlândia/MG

Quantidades (toneladas)	Valor (R\$)
Até 1 tonelada por dia	Por tonelada R\$ 51,32
Entre 1 e 2 toneladas	Por tonelada R\$ 56,45
Entre 2 e 3 toneladas	Por tonelada R\$ 62,10
Entre 3 e 4 toneladas	Por tonelada R\$ 68,31
Acima de 4 toneladas	Por tonelada R\$ 75,14

Fonte: Uberlândia (2003b, p. 3-4) (Adaptada).

As leis municipais regem toda e qualquer atitude tomada em relação aos resíduos sólidos da cidade de Uberlândia, tendo como base as leis federais e estaduais que regulamentam ações para o descarte, armazenamento, transporte e destino final para os resíduos sólidos gerados, classificando-os de acordo com a sua periculosidade e seus impactos ao meio ambiente.

2.5 Lâmpadas de descarga

Nas lâmpadas de descarga, a energia é emitida sob a forma de radiação, provocando uma excitação nos gases ou vapores metálicos, ocasionada pela tensão elétrica entre os eletrodos. Essa radiação depende de diversos fatores, como da pressão interna da lâmpada, da natureza do gás ou da presença de partículas metálicas ou halogênios no interior do tubo.

A vida útil das lâmpadas de descarga pode variar entre 7.500 h para lâmpadas fluorescentes até 24.000 h para lâmpadas a vapor de sódio. Apesar de seu custo inicial ser elevado, sua manutenção é reduzida quando comparada às lâmpadas incandescentes (MORAIS, 2004).

Os tipos mais comuns de lâmpadas de descarga são: lâmpadas fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio e lâmpadas mistas.

2.5.1 Lâmpadas fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes possuem um funcionamento diferenciado das outras que se baseiam em descargas a gás. São caracterizadas como luz fria devido à baixa emissão de calor, podendo

ter um aspecto mais branco, azulado e até amarelado. O que define esse aspecto é a temperatura da cor que é dada em graus kelvin (K) (CAVALLO, 2016).

As lâmpadas fluorescentes tubulares são lâmpadas de descarga de baixa pressão. Elas consistem de um tubo de vidro revestido internamente com pó de fósforo e possuem eletrodos de fios de tungstênio. O tubo é preenchido com gases inertes e um não inerte, como o mercúrio conforme demonstra a Figura 1. A luz ultravioleta (UV) é emitida pela passagem da corrente elétrica entre os eletrodos, criando um arco de baixa intensidade que excita o vapor de mercúrio e produz radiação a qual excita os átomos de fósforo, ocorrendo a emissão de luz visível. Para funcionarem, precisam de reatores, equipamentos auxiliares que limitam a corrente e ajustam as tensões para o perfeito funcionamento da lâmpada (CESTARI; MARTINS, 2015).

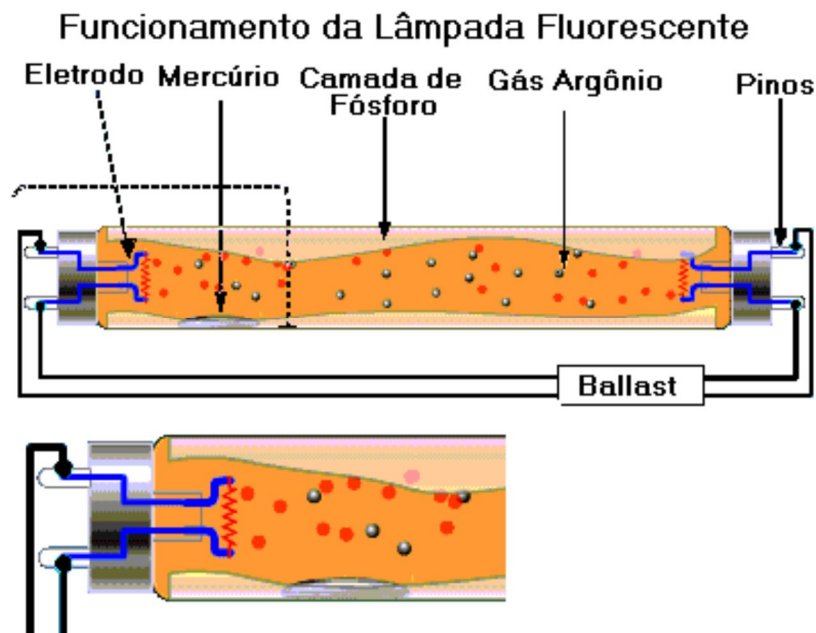


Figura 1 – Funcionamento da lâmpada fluorescente.
Fonte: Morais (2004, p. 12).

Pela sua composição química, as lâmpadas fluorescentes são resíduos sólidos perigosos que causam danos ao meio ambiente e às pessoas, necessitando de um descarte adequado. Por ser utilizada em grande escala pela sociedade, seu descarte também tem sido de elevado volume e de forma indiscriminada, podendo ser encontradas em terrenos baldios, vales, lixões e aterros sanitários, sendo algumas armazenadas em depósitos abertos sujeitos a invasões e utilização indevida. Quando descartadas em locais inadequados, podem contaminar o meio ambiente, intoxicar os seres humanos causando problemas físicos e neurológicos (CESTARI; MARTINS, 2015).

Existem várias vantagens em se utilizar a lâmpada fluorescente: seu consumo energético é baixo, representando 80% a menos de energia que o consumo das lâmpadas incandescentes comuns; produz menos calor e tem maior durabilidade. Existe, porém, uma desvantagem preocupante: as lâmpadas geram grande quantidade de raios ultravioletas (UV), que podem alterar a pigmentação de obras de arte, causar danos visuais e manchar a pele quando a exposição for prolongada. Outra desvantagem é que esta lâmpada possui substâncias tóxicas e, quando quebradas, o ambiente deve ser ventilado imediatamente e não se deve tocar no mercúrio sem luvas, pois ele pode ser absorvido pela pele e causar intoxicação e, com isso, grandes danos à saúde do indivíduo (FERREIRA, 2014).

Para se escolher o tipo de lâmpada, é necessário verificar sua eficiência, ou seja, o quanto ela produz de luz. A sua eficiência é dada pela quantidade de watts: quanto maior for este valor, mais eficiente será a lâmpada e mais luz ela vai refletir no ambiente.

As lâmpadas fluorescentes são classificadas como tubulares e compactas. As tubulares são ideais para iluminação geral, principalmente áreas de trabalho onde exista a necessidade de se criar um ambiente estimulante, como cozinhas, escritórios, hospitais, indústrias, *shoppings*, supermercados, escolas etc. As compactas possuem a mesma tecnologia das fluorescentes tubulares, porém, ocupam menos espaço devido ao seu tamanho reduzido (CAVALLO, 2016).

Segundo Crepaldi, Frigatti e Luckow (2012), as lâmpadas fluorescentes possuem uma característica de resistência negativa, ou seja, uma característica volt-ampère negativa. Isto significa que a corrente elétrica da lâmpada aumenta tanto ao ponto de destruir a lâmpada em pouco tempo, o que justifica a existência do reator, que atua limitando o aumento da corrente elétrica da lâmpada. No momento da partida da lâmpada fluorescente, o valor de tensão inicial pode chegar a valores elevados, até cerca de 1200V. A ação do reator diminui esta tensão no momento da ignição. Pode-se dizer, no entanto, que estas características de sobretensão e temperatura inadequada de ignição são causa de um excessivo e precoce desgaste dos seus filamentos, o que faz com que a lâmpada fluorescente seja danificada com pouco tempo de uso.

A vida das lâmpadas fluorescentes é determinada pela perda da emissão de elétrons sobre os eletrodos. Parte do revestimento é corroída a partir dos eletrodos cada vez que a lâmpada é ligada; evaporação e erosão adicionais também ocorrem durante a operação. A temperatura do eletrodo afeta diretamente a evaporação e erosão do material de emissão, e também afeta a vida da lâmpada. Uma temperatura muito alta do eletrodo reduzirá a vida útil da lâmpada devido à evaporação do material de emissão, como também uma baixa temperatura devido a erosão do material de emissão por crepitação (CREPALDI; FRIGATTI; LUCKOW, 2012, p. 14).

Em um gás de descarga, a corrente provoca a diminuição da resistência elétrica, porque quanto mais elétrons e íons fluem por uma mesma área, maior o número de colisões, o que

libera mais elétrons, criando mais partículas carregadas; em consequência, a corrente aumentará cada vez mais, e o reator eletrônico trabalha para esse controle (MORAIS, 2004).

2.5.1.1 Lâmpadas fluorescentes de partida rápida

O funcionamento das lâmpadas fluorescentes de partida rápida é diferente, pois dois filamentos são aquecidos e liberam elétrons com esse aquecimento, ionizando o gás no interior do tubo, o que estabelece uma diferença de tensão entre os eletrodos a qual, por sua vez, estabelece um arco elétrico que excita os átomos de mercúrio, ativando o processo de iluminação (MORAIS, 2004).

De acordo com Cavallo (2016), as lâmpadas florescentes possuem duas classificações ou tipos: tubulares ou compactas (Tabela 3).

Tabela 3 – Classificação das lâmpadas fluorescentes

Tipo	Identificação	Diâmetro	Potência	Tecnologia	Quanto a aparelhos auxiliares	Quanto à dimerização
Tubulares	T12	38mm	15W 20W 30W 40W 110W	Tradicional	Necessitam obrigatoriamente de reatores e, em certos casos, de starters	Dimerizáveis se usadas com reator eletrônico
	T10,5	33mm				
	T8	26mm	16W 18W 32W 36W 50W 58W	Recente		
	T5	16mm	14W 21W 28W 35W 49W 54W 80W	Última geração		
Compactas	Eletrônicos ou tipo integrado		5 a 75W		Reatores já incorporados Base de rosca E27 (idêntica às lâmpadas incandescentes)	Não são dimerizáveis devido ao tipo de reator que já vem incorporado
	4 pinos		11 a 42W		Necessitam de reatores eletromagnéticos ou eletrônicos	Dimerizáveis através de reator eletrônico
	2 pinos		5 a 13W		Necessitam de reatores eletromagnéticos	Não permitem dimerização

Fonte: Cavallo (2016, p. 8).

2.5.2 Lâmpadas de descarga: luz mista

Esse tipo de lâmpada é constituído de um filamento que emite luz incandescente através de um tubo de descarga a vapor de mercúrio (Figura 2). A radiação ultravioleta entra em contato com a camada fluorescente do tubo, transforma-se em luz avermelhada, muito semelhante à luz do dia, e o fluxo luminoso é de 20 a 35% maior que o da lâmpada incandescente; sua vida útil é cerca de seis vezes maior (MORAIS, 2004).

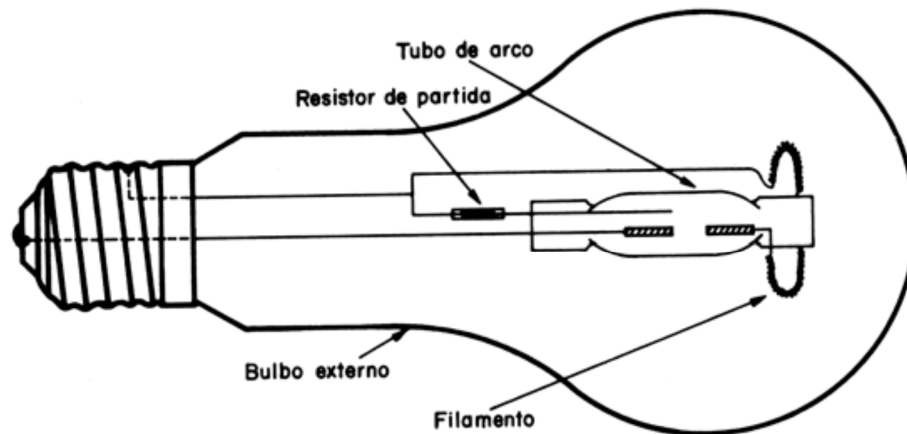


Figura 2 – Partes componentes de uma lâmpada de luz mista.
 Fonte: Morais (2004, p. 14).

2.5.3 Lâmpadas de descarga a vapor de mercúrio

As lâmpadas de descarga a vapor de mercúrio possuem um tubo de quartzo ou vidro contendo mercúrio e gás argônio (Figura 3). Possui três eletrodos, dois principais e um auxiliar, que estabelecem um arco de ignição preliminar que vaporiza o mercúrio, formando o arco luminoso. A radiação ocorre com a descarga sob alta pressão de vapor de mercúrio produzindo a luz. O bulbo de vidro mantém a radiação no seu interior, evitando que prejudique os olhos das pessoas. Essa luz consome em torno de três minutos para atingir seu fluxo total e, ao ser desligada, voltará a acender somente após três minutos, tempo que demora o seu resfriamento (MORAIS, 2004).

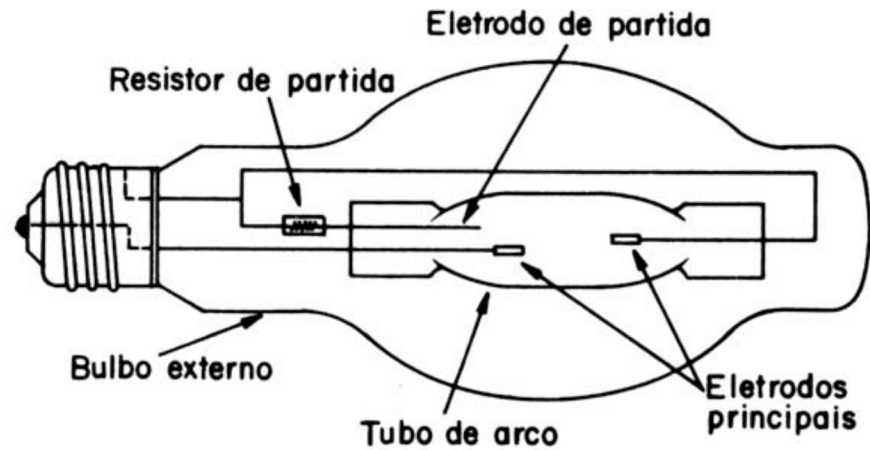


Figura 3 – Elementos básicos de uma lâmpada de vapor de mercúrio.
Fonte: Moraes (2004, p. 15).

Existem, também, as lâmpadas de vapor de mercúrio mistas que são as mesmas lâmpadas de bulbo fluorescente, porém, com o tubo de descarga ligado em série a um filamento de tungstênio, que age como reator, já que as mesmas não o possuem, dispensando o emprego do reator e permitindo que a lâmpada seja ligada diretamente à rede (CREPALDI; FRIGATTI; LUCKOW, 2012).

2.5.4 Lâmpadas de vapor de sódio

Na lâmpada de sódio, o tubo de descarga é composto de sódio e uma mistura de gases inertes (neônio e argônio) a uma determinada pressão suficiente para obter uma tensão de ignição baixa. Possui vida útil longa e alta luminosidade. Este tipo de lâmpada é muito utilizado para iluminação pública (MORAIS, 2004).

2.6 Lâmpadas LEDs

LED é a sigla de *Light Emitting Diode* que, em português, significa diodo emissor de luz. São componentes eletrônicos que emitem luz através de eletroluminescência, transformando energia elétrica em radiação visível (luz). O LED existe desde 1962 e era utilizado apenas para sinalização devido ao seu baixo fluxo luminoso (emissão de luz), restrita gama de cores e baixa potência. Foi em meados da década de 1990, após muitas pesquisas e investimentos, que surgiu o LED azul com alto fluxo luminoso que, juntamente com uma camada de fósforo, gera luz branca, com isso possibilitando a utilização do LED na iluminação (BLEY, 2012).

Segundo Santos et al. (2015), a lâmpada LED é um componente eletrônico semicondutor, com a mesma tecnologia utilizada nos *chips* de computadores. Esses componentes possuem a propriedade de transformar energia elétrica em luz, não utilizando filamentos metálicos, radiação ultravioleta nem descarga de gases. É um componente bipolar que possui um terminal chamado cátodo e outro chamado ânodo, que, quando polarizados, permitem a passagem de corrente elétrica, gerando luz.

A utilização do LED em forma de lâmpada, além de ser um avanço tecnológico, é muito interessante do ponto de vista dos benefícios ambientais, pois seu consumo de energia é consideravelmente inferior às lâmpadas convencionais, como as incandescentes e as fluorescentes compactas. Outros benefícios ambientais das lâmpadas de LED são as características e possibilidades de descarte final de resíduos, além da sua durabilidade. O LED é produzido com materiais atóxicos ao meio ambiente, o que faz com que possa ser descartado sem a necessidade de uma destinação e disposição final especiais. Sua durabilidade é outro aspecto interessante, pois demanda menos trocas o que, conseqüentemente, gera menos descartes no ambiente. Já a lâmpada fluorescente, por exemplo, contém Mercúrio, o que exige maiores cuidados quanto ao descarte, devido às características nocivas deste elemento (SANTOS et al., 2015, p. 596).

O princípio de seu funcionamento baseia-se na utilização de diodos emissores de luz associados de forma a criar um fluxo luminoso elevado. A utilização dos LEDs para iluminação é possível graças ao desenvolvimento de diodos brancos de alta potência e elevada eficiência. Essa lâmpada é composta por um bulbo, LED disposto em um dissipador de calor (pois a quantidade de luz emitida pelo LED diminui com o aumento da temperatura, por isso necessita deste dispositivo) e de um *driver*. O LED pode ser classificado em três categorias: indicativo, de alto brilho e de potência. O LED emite luz monocromática, e o comprimento de onda está relacionado ao tipo de material utilizado na composição do semicondutor. A dopagem do cristal pode ser feita com gálio, alumínio, arsênio, fósforo, índio e nitrogênio. Essa variedade de elementos químicos e a combinação deles permitem a emissão de luz em uma ampla faixa do espectro (LIMA, 2013).

A Figura 4 mostra o funcionamento interno de uma lâmpada LED.

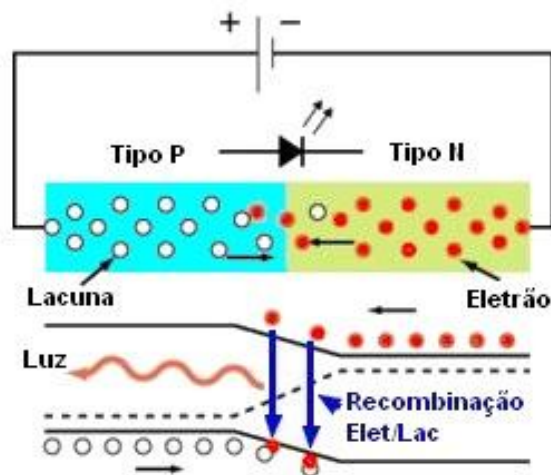


Figura 4 – Funcionamento interno de uma lâmpada LED.
Fonte: Eletrônica Led (2017).

De acordo com Marteleto (2011), se a tensão aplicada entre anodo e cátodo do semiconductor for de valor adequado aos elétrons do material do tipo n e às lacunas do material do tipo p , ambos se deslocam em direção à junção $p-n$. Esta recombinação exige que a energia do elétron livre não ligado seja transferida para outro estado inferior. Essa energia é emitida na forma de fótons. Em materiais como arsenieto de gálio (GaAsP) ou fosfeto de gálio (GaP), o número de fótons da energia luminosa é suficiente para criar uma fonte de luz bem visível.

Esse processo de emissão de luz com aplicação de uma fonte elétrica é chamado de eletroluminescência. Desse modo, a radiação emitida pelo LED pode ir desde ultravioleta até a infravermelha. A geração de luz branca é feita por mistura de cores, geralmente entre o azul e o amarelo claro (MARTELETO, 2011).

Ainda segundo este autor, uma característica importante é a alimentação do LED, que utiliza baixa alimentação de condução entre 1,9 Volts a 4 Volts para LED de alto brilho. Para LED de alta potência, varia entre 5 Volts a 12 Volts e opera em corrente contínua, o que gera menor gasto de energia e maior durabilidade da lâmpada, e deve ser efetuada com o auxílio de um circuito passivo (retificador simples de onda completa) ou por um conversor.

2.6.1 Comparativo entre as lâmpadas fluorescentes e as LEDs

As lâmpadas LEDs, equivalentes a 60 W da incandescente e a 15 W da fluorescente, necessitam apenas de 8 W para emitir luz, refletindo um gasto bem menor que as demais, cerca de 1.000 kWh (SANTOS et al., 2015).

A Tabela 4 estabelece um comparativo de custo/benefício entre as lâmpadas LEDs, fluorescentes e incandescentes, de forma a comprovar a viabilidade da substituição das fluorescentes pelas LEDs (SANTOS et al., 2015).

Tabela 4 – Comparativo custo/benefício entre as lâmpadas

Lâmpadas	Potência (W)	Preço (R\$)	Gasto em kWh (24 horas)	Gasto em 30 dias (R\$ 0,366040 kWh)	Fluxo luminoso	Eficiência energética	Retorno investimento
Incandescente	60	1,75	1,428	15,68	338	5.6333	-
Fluorescente	15	7,90	0,335	3,67	316	21.0667	1 mês
LED	45	65,90	0,095	1,04	160	35.5556	5 meses

Fonte: Santos et al. (2015, p. 601).

O único problema das lâmpadas fluorescentes está na forma de descarte e reciclagem, que é um processo complexo e, às vezes, demorado. Já as LEDs possuem melhor eficiência e desempenho no gasto de energia elétrica, com uma transformação relativamente baixa em calor, e possuem vida longa se comparadas às lâmpadas fluorescentes. As LEDs duram em torno de 50 mil horas, enquanto as fluorescentes duram em torno de 8 mil horas. As lâmpadas fluorescentes, porém, emitem um fluxo luminoso maior do que as LEDs, sendo necessárias menos lâmpadas e luminárias se as instalações forem feitas com esse tipo de lâmpada (FERREIRA, 2014).

As lâmpadas LEDs, por se tratar de um material semicondutor que não possui qualquer tipo de gás ou metal que possa vir a ser prejudicial ao meio ambiente quando do seu descarte, são muito utilizadas, inclusive por órgãos públicos onde é necessária maior luminosidade, menor custo, consumo, poluição e propagação de calor. As lâmpadas fluorescentes, quando descartadas, prejudicam a saúde humana e o meio ambiente, possuem um fluxo luminoso eficiente e o custo bem inferior aos das lâmpadas LEDs, mas com durabilidade menor (LOPES, 2014).

O uso racional dos recursos é uma preocupação que aumenta a cada dia em virtude do desequilíbrio ambiental que hoje vivemos. Por isso, novas alternativas de energia podem contribuir e muito para uma melhor utilização dos recursos energéticos. A lâmpada LED não possui materiais danosos ao meio ambiente, ao contrário da lâmpada fluorescente. Sendo assim, o LED, quando descartado, 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, p. 5).

A Tabela 5 apresenta um comparativo entre as lâmpadas fluorescentes e as lâmpadas LEDs.

Tabela 5 – Diferenças entre as lâmpadas fluorescentes e as lâmpadas LEDs

	LED	Fluorescente
Potência (W)	16	40
Lúmens (lm)	1600	2500
Lâmpada (R\$)	31,90	8,40
Reator (R\$)	Não utiliza	20,00
Luminária (R\$)	100,00	100,00
Vida útil (h)	40000	13000
Modelo	T8	T8
Marca	Toshiba	Osram

Fonte: Lopes (2014).

Embora haja uma durabilidade maior e uma economia considerável no consumo de energia, o principal obstáculo a ser vencido pelas lâmpadas LEDs é o custo, porque, enquanto uma lâmpada fluorescente custa em média R\$ 8,00, uma LED custa em média R\$ 31,90, mas, em contrapartida, a economia no consumo de energia é significativa, o que viabiliza a troca (LOPES, 2014).

Uma lâmpada LED utiliza 82% menos energia elétrica que uma lâmpada incandescente, o que gera uma economia significativa no valor pago pela energia. Tem durabilidade de 40.000 horas, contra 1.000 horas de uma incandescente e 8.000 horas de uma fluorescente, o que permite diminuir a quantidade de trocas de lâmpadas e os gastos com coleta e manutenções.

2.7 Impactos causados pelo mercúrio contido nas lâmpadas fluorescentes

Os impactos ambientais associados às lâmpadas fluorescentes crescem a cada ano, e a presença do mercúrio continua sendo a maior preocupação por ele ser um poluente tóxico bioacumulativo na natureza. Por ser um elemento químico persistente, torna-se ainda mais agressivo ao meio e à vida na terra (BACILA; FISCHER; KOLICHESKI, 2014).

A contaminação pelo mercúrio ocasionada por lâmpadas fluorescentes por um período longo (um ano, por exemplo) dá margem à agregação, por parte do solo e dos lençóis freáticos

subterrâneos, de parte do metal tóxico, fator que causa diversas doenças de contato direto ou indireto (RAMOS et al., 2016).

O mercúrio, quando depositado em rios em grande quantidade, contamina os peixes e frutos do mar, e a ingestão desses alimentos acaba por contaminar o ser humano, causando diversos sintomas, manifestando-se, sobretudo, nas células do sistema nervoso, originando sintomas neurológicos como microcefalia, hipoplasia e atrofia do cérebro. Podem, também, aparecer tremores das mãos e eretismo (comportamento anormal e introvertido), gengivite, insônia, vômitos, dores de cabeça, elevação da pressão arterial, lesões renais, danos e convulsões (CESTARI; MARTINS, 2015).

A quantidade de mercúrio contida em apenas uma lâmpada (Tabela 6) não afeta o meio ambiente de maneira significativa, porém, em grande quantidade, existe um impacto negativo (MONTEIRO, 2015).

Tabela 6 – Quantidade de mercúrio existente por tipo de lâmpada

Lâmpadas contendo mercúrio	Variação de potências	Quantidade média de mercúrio	Variação das médias de mercúrio por potência
Mista	160W a 500W	0,017g	0,011g a 0,080g
Vapor de Mercúrio	80W a 1000W	0,032g	0,013g a 0,080g
Vapor de Sódio	70W a 1000W	0,019g	0,015g a 0,030g
Vapor Metálico	35W a 2000W	0,045g	0,010g a 0,170g

Fonte: Sales (2011 apud MONTEIRO, 2015, p. 49).

O mercúrio tem elevada capacidade de dispersão e se volatiliza facilmente à temperatura ambiente, persistindo nos ambientes na forma de metilmercúrio após transformação por meio de metabolismo microbiano. O metilmercúrio tem a capacidade de acumular-se nos organismos e concentrar-se nas cadeias alimentares, principalmente a aquática, contaminando os peixes e tornando-os a principal via de exposição e contaminação (GUSMÃO, 2017).

Ramos et al. (2016) citam que, em um estudo feito por volta de 1960 e 1970 com mulheres em período de gestação que ingeriram peixes contaminados por mercúrio, elas apresentaram problemas, e seus filhos tiveram ataxia, deterioração da fala, constrição do campo visual, dificuldades auditivas, alterações sensoriais, deficiência mental e paralisia mental.

A Tabela 7 apresenta os sintomas da intoxicação aguda e crônica por mercúrio no organismo humano.

Tabela 7 – Sintomas da intoxicação aguda e crônica por mercúrio

Intoxicação aguda	Intoxicação crônica
<ul style="list-style-type: none"> • Aspecto cinza escuro na boca e faringe; • Dor intensa; • Vômitos (podem ser até sanguinolentos); • Sangramento nas gengivas; • Sabor metálico na boca; • Ardência no aparelho digestivo; • Diarreia grave e/ou sanguinolenta; • Inflamação na boca (estomatite); • Queda dos dentes e/ou dentes frouxos; • Glossite; • Tumefação na mucosa ou nas gengivas; • Nefrose nos rins; • Problemas hepáticos graves; • Pode causar até morte rápida (1 ou 2 dias). 	<ul style="list-style-type: none"> • Transtornos digestivos; • Transtornos nervosos; • Caquexia; • Estomatite; • Salivação; • Mau hálito; • Inapetência; • Anemia; • Hipertensão; • Afrouxamento dos dentes; • Problemas no sistema nervoso central; • Transtornos renais leves; • Possibilidade de alteração cromossômica.

Fonte: Homrich, Fernandes e Viera (2014, p. 2).

Até o momento, não existem, na legislação brasileira, limites de concentração de mercúrio nas lâmpadas, e a maioria das empresas fabricantes do material tornou-se praticamente importadora. A logística reversa facilita a separação dos materiais e proporciona um maior índice de reciclagem no país e, com isso, reduz o volume de resíduos descartados e a pressão sobre o meio ambiente (GUSMÃO, 2017).

2.8 Logística reversa

A implementação da logística reversa, principal instrumento da PNRS, visa garantir o aumento do percentual de reciclagem no Brasil que, atualmente, é baixo, cerca de 13% de resíduos secos, percentual que poderia ser próximo de 30% (GUSMÃO, 2017).

A logística reversa é um termo bastante usado ultimamente e tem um significado amplo que, na sua maioria, quer dizer reutilização de materiais pós-uso para matéria-prima para novos produtos. A logística reversa engloba coletar, transportar e processar materiais que foram descartados para assegurar uma recuperação sustentável, e os materiais processados podem ser utilizados para os mais diversos fins (SHIBÃO; MOORI; SANTOS, 2010).

A logística reversa é uma continuação da logística tradicional que tem como objetivo a gestão e a distribuição do material descartado, possibilitando o retorno de bens ou materiais

constituintes ao ciclo produtivo e agregando valor econômico, ecológico, legal e de localização ao negócio. As atividades presentes na logística reversa abrangem diversas etapas como coleta, inspeção, separação, compra e venda, devolução, visando a uma recuperação sustentável (WILLE; BORN, 2016).

A logística reversa de pós-consumo é definida como sendo uma área de atuação da logística reversa que equaciona e operacionaliza igualmente o fluxo físico e as informações correspondentes de bens de pós-consumo descartados pela sociedade em geral, que retornam ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo por meio dos canais de distribuição reversos específicos. Os produtos em fim de vida útil ou usados com possibilidade de reutilização, ou seja, reaproveitamento de matéria prima para a fabricação de produtos novos, da mesma forma que os resíduos industriais em geral, podem ser classificados como bens de pós-consumo (MIQUILUCH; GONÇALVES, 2012, p. 77).

Por sua vez, Shibao, Moori e Santos (2010) relatam as funções da logística reversa como sendo:

Planejamento, implantação e controle do fluxo de materiais e do fluxo de informações do ponto de consumo ao ponto de origem; movimentação de produtos na cadeia produtiva, na direção do consumidor para o produtor; busca de uma melhor utilização de recursos, seja reduzindo o consumo de energia, seja diminuindo a quantidade de materiais empregada, seja reaproveitando, reutilizando ou reciclando resíduos; recuperação de valor e segurança na destinação após utilização (SHIBAO; MOORI, SANTOS, 2010, p. 4).

O processo de logística reversa é de suma importância para uma empresa e é elaborado de acordo com o organograma que demonstra as etapas desde a matéria-prima nova até a matéria-prima reaproveitada (Figura 5).

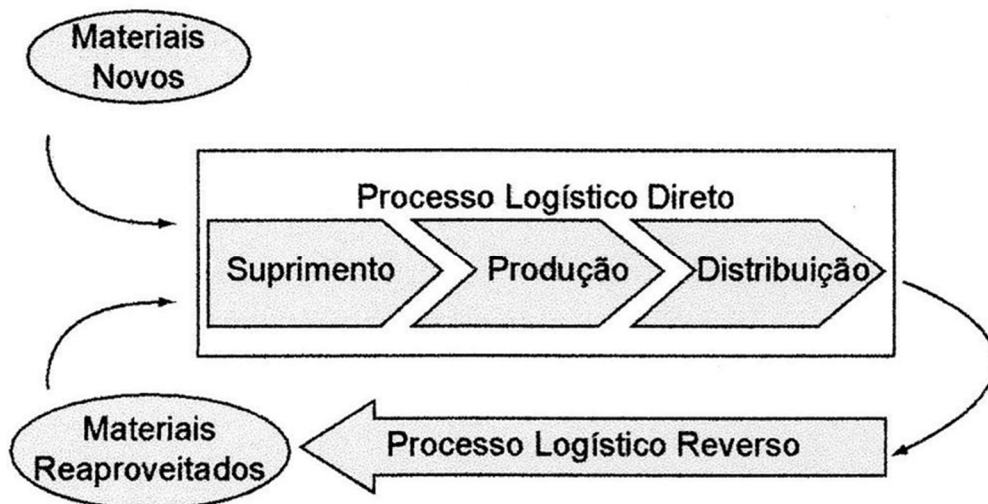


Figura 5 – Organograma da logística reversa.

Fonte: Lacerda (2002, p. 2 apud CESTARI e MARTINS, 2015, p. 128) (Adaptada).

Os benefícios da logística reversa são muitos, porém, os mais importantes se resumem a demandas ambientais com normas que levam as empresas a se preocuparem com a destinação final de produtos e embalagens por elas produzidos que, normalmente, são descartados de forma incorreta pelo consumidor. A eficiência econômica também é de suma importância, pois permite a geração de ganhos financeiros pela economia no uso de recursos e reciclagem para reaproveitamento do material e ganho de imagem e *status* perante os sindicatos, população e órgãos públicos que incentivam a responsabilidade social com o meio ambiente e com a saúde do ser humano (BACILA, 2012).

Muitas empresas já adotaram o processo de logística reversa, principalmente as multinacionais. No entanto algumas ainda enfrentam dificuldades para a implantação do processo, seja de ordem econômica, seja de recursos humanos treinados para esse fim.

O número de resíduos descartados tem sido expressivo, principalmente resíduos que podem ser reaproveitados após o seu primeiro uso como matéria-prima para novos produtos. Como isso normalmente não ocorre, há um desequilíbrio entre as quantidades de resíduos descartados e os reaproveitados. Isto se dá porque, frequentemente, não encontram canais de distribuição reversos de pós-consumo e pós-venda devidamente estruturados e organizados nas empresas (SANTOS et al., 2013).

Existe logística reversa para os mais diversos tipos de resíduos sólidos. A de lâmpadas fluorescentes contribui para a redução de resíduos sólidos descartados incorretamente e para um retorno econômico no reaproveitamento de materiais após o primeiro uso, sem levar em conta que tem o objetivo de preservar o meio ambiente dos danos causados pelos resíduos de mercúrio.

Em 05/07/2012, o Ministério do Meio Ambiente publicou um edital de chamamento convocando o setor responsável por iluminação para apresentação de uma proposta de Acordo Setorial para implantação da logística reversa em todo o país. Assim, em 27/11/2014, surgiu o Programa Reciclus, entidade sem fins lucrativos que deverá implementar, em cinco anos (sendo 2017 o ano I), o Sistema de Logística Reversa de Lâmpadas Fluorescentes de Vapor de Sódio e Mercúrio e de Luz Mista pela União, por intermédio do Ministério do Meio Ambiente (MMA), a Associação Brasileira da Indústria da Iluminação (ABILUX), a Associação Brasileira de Importadores de Produtos de Iluminação (ABILUMI) e empresas fabricantes, importadoras, comerciantes e distribuidoras de lâmpadas (RECICLUS, 2017a).

O programa distribuiu coletores em 83 pontos de entrega até setembro de 2017 e já atingiu 17 cidades brasileiras, das 33 previstas para esse ano, o que significa 11% do total de

pontos de coleta previstos, que é de 698 para 2017. Em oito meses, a Reciclus recolheu 3 toneladas de resíduos, cerca de 37 mil lâmpadas, com uma taxa de quebra perto de zero (RECICLUS, 2017b).

O cronograma de implantação segue os critérios técnicos indicados no Acordo Setorial, como número de habitantes, área urbana, densidade populacional, domicílios com energia elétrica, poder aquisitivo, infraestrutura viária e acessibilidade. Em maio de 2017, foi implantado o primeiro ponto de entrega fora do estado de São Paulo, na cidade de Curitiba/PR. Todas as demais localidades previstas no primeiro ano de implantação já foram contatadas para a implantação dos pontos de coleta (RECICLUS, 2017b).

Para garantir a correta execução do processo de logística reversa, foi calculado um repasse por lâmpada entrante no mercado denominado “Ecovalor”, no valor de R\$ 0,40 por lâmpada (ULTRALED, 2017). Dessa forma, as empresas contribuem para os processos de coleta, distribuição de equipamentos nos pontos de entrega, educação ambiental, transportes, processamentos e para a destinação final adequada.

Para que a logística reversa seja amplamente utilizada, é preciso envolver todos os atores, especialmente a indústria e o comércio. Essa parceria é importante porque, apesar da previsão legal, essa logística ainda não está implementada no setor de eletroeletrônicos.

Todo o material recolhido será encaminhado para a reciclagem.

De acordo com a PNRS, o processo de descarte deve estar voltado para a reciclagem e o reaproveitamento de materiais das lâmpadas descartadas para a fabricação de novas lâmpadas, o que, além de reduzir o volume de resíduos sólidos, vai diminuir também os custos na aquisição de novas lâmpadas e, conseqüentemente, os impactos ambientais (CESTARI; MARTINS, 2015).

Várias são as alternativas para destinação final das lâmpadas fluorescentes. No Brasil, são usados diversos métodos, todos voltados para uma tecnologia de última geração como: tratamento por sopro, moagem simples, moagem com tratamento químico ou térmico e solidificação/encapsulamento. As tecnologias disponíveis para reciclagem das lâmpadas fluorescentes e sua destinação estão listadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Tecnologias utilizadas para descarte e reciclagem de lâmpadas fluorescentes

Tecnologia	Descrição
Moagem simples	Realiza a ruptura das lâmpadas e, através de um sistema de sucção, promove a retenção de uma parcela do mercúrio contido nas lâmpadas. Esse sistema impede que o mercúrio seja liberado para a atmosfera. Na maioria desses processos, os materiais não são separados e, geralmente, são destinados ao aterro industrial.
Trituração com tratamento químico	Constituída de duas fases principais: esmagamento e retenção do mercúrio. Nesse processo, é realizada a lavagem do vidro e, na sequência, é feita a separação do pó de fósforo. O líquido é tratado quimicamente, sendo realizada a separação do mercúrio.
Trituração com tratamento térmico	Possui duas etapas principais: esmagamento e destilação de mercúrio. Essa tecnologia possibilita a recuperação do mercúrio através do aquecimento da fração contendo pó fosfórico, vaporização do mercúrio e posterior condensação. Considera-se a melhor alternativa de tratamento, pois permite que o mercúrio seja recuperado.
Sopro	Neste processo, as extremidades são rompidas com aquecimento e resfriamento. Através do tubo de vidro, uma corrente de ar é soprada, promovendo o arraste do pó de fósforo com mercúrio. Entretanto, como no sistema de moagem simples, o teor total de mercúrio não é removido.
Solidificação/ encapsulamento	Realiza-se um esmagamento e posterior encapsulamento dos materiais restantes e destinação a aterros.

Fonte: Bacila (2012, p. 35) (Adaptada).

Embora existam vários tipos de descarte e de reciclagem dessas lâmpadas, o que ainda se vê como destino final acaba prejudicando a sociedade e o meio ambiente como um todo. Órgãos públicos estão contratando empresas terceirizadas para a efetivação dos serviços de descarte e reciclagem das lâmpadas, porém, muitos órgãos ainda não se estão preocupando com esse fato, interferido e prejudicando o que hoje se pode chamar de crescimento sustentável.

De acordo com a tecnologia utilizada para a reciclagem das lâmpadas, pode-se perceber a economia em termos de reaproveitamento de matéria-prima, o que contribui para o crescimento sustentável dentro das empresas, principalmente se estas empresas são instituições públicas, onde os gastos são consideravelmente altos (BACILA, 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do estudo

O estudo foi realizado na Universidade Federal de Uberlândia (UFU) localizada em Uberlândia/MG (Figura 6), no período de novembro de 2016 a setembro de 2017.

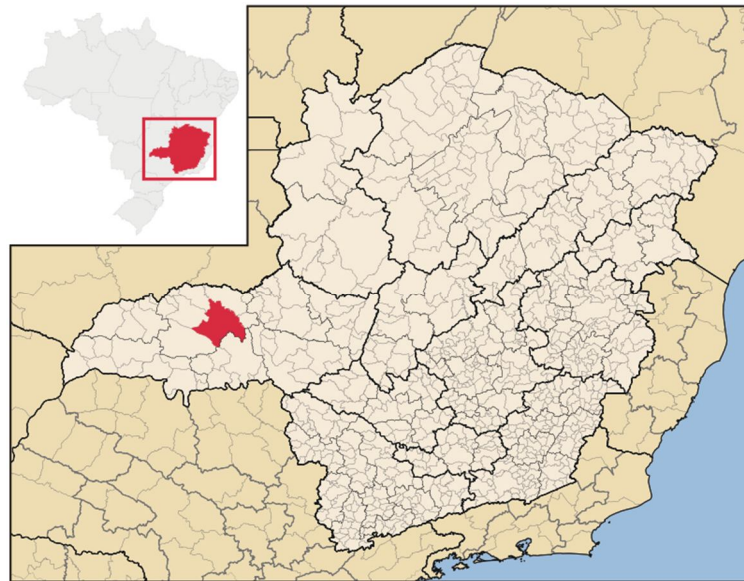


Figura 6 – Mapa da localização da cidade de Uberlândia/MG.
Fonte: Uberlândia (2017a).

Em 2016, Uberlândia apresentou uma área de 4.115,206 km² e está situada na região Sudeste do Brasil, especificamente no Triângulo Mineiro (Figura 6), a uma altitude média de 887 m. Localiza-se na Latitude 18° 55' 07" S, Longitude 48° 16' 38" W, a uma altitude de 86 m (UBERLÂNDIA, 2016).

Entre os municípios mais populosos do Brasil, exceto capitais, Uberlândia se classificava, em 2014, em 12º lugar, com uma população de 654.681 (IBGE, 2014, p. 3). É considerada o segundo maior município de Minas Gerais, com uma população projetada de 676.613 habitantes para 2017, com uma densidade demográfica municipal de 146,78 hab./km² contra 33, 41 hab./km² no estado, segundo o IBGE Cidades Uberlândia (IBGE, 2010) e o último senso do IBGE (2011)¹. Entre 2000 e 2010, a população de Minas Gerais cresceu a uma taxa média anual de 0,91%. No Brasil, esta taxa foi de 1,17% no mesmo período. Nesta década, a

¹ Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência de 1º de julho de 2017.

taxa de urbanização de Minas Gerais passou de 82,00% para 85,29%. Em 2010, viviam, na unidade federativa, 19.597.330 pessoas (ATLAS BRASIL, 2013).

Quanto ao território e meio ambiente, Uberlândia apresenta 98,2% de domicílios com esgotamento sanitário adequado (posição 2 de 853 em relação aos outros municípios do estado), 95,2% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização (posição 30 de 853) e 33% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio – posição 309 de 853). O município, quando comparado a outras cidades do Brasil, tem posição 59 de 5570, 875 de 5570 e 1064 de 5570, respectivamente (IBGE, 2010; IBGE, 2017a).

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) municipal é de 0,789 (IBGE, 2017a,b), considerado "alto" pela Organização das Nações Unidas, sendo o terceiro município com melhor IDH do estado e o 71º do Brasil. Está acima tanto da média estadual quanto nacional, que foram calculadas no mesmo ano como de 0,731 e 0,699, respectivamente (ATLAS BRASIL, 2013; PNUD, 2010).

A vegetação predominante no município é o cerrado, que possui diferentes paisagens: o cerradão (árvores altas, maior densidade e diversidade), o cerrado propriamente dito (árvores menores e mais esparsas entre si), o campo cerrado, campo sujo e campo limpo (progressiva diminuição da densidade arbórea). Em meio ao cerrado se espalham matas ciliares ao longo dos rios, campos úmidos e veredas de buritis. Todos os tipos fisionômicos do cerrado estão representados na área urbana de Uberlândia e seu entorno, com distribuição vegetal de acordo com o tipo de solo e a proximidade do lençol freático (SANTOS; SILVA, 2010, p. 3).

O produto interno bruto (PIB) de Uberlândia é o 27º maior do Brasil, destacando-se na área de prestação de serviços. A agricultura é o setor mais relevante da região, seguida da indústria e da prestação de serviços (IBGE, 2010, 2014).

Possui um sistema de transporte integrado e moderno para atender à população e, em relação à saúde, além do Hospital Universitário da Universidade Federal de Uberlândia, ainda conta com diversos hospitais da rede privada, um hospital municipal e várias unidades de atendimento integrado espalhadas pelos bairros da cidade (UBERLÂNDIA, 2017b),

A Figura 7 evidencia uma visão aérea da cidade de Uberlândia.



Figura 7 – Vista aérea da cidade de Uberlândia/MG.

Fonte: Cidades em foto (2017).

A Universidade Federal de Uberlândia (UFU) foi fundada na década de 1950. É uma instituição pública de ensino superior aberta a todas as manifestações políticas, ideológicas, religiosas e às diferentes correntes de pensamento. A UFU tem como missão formar profissionais qualificados, produzir conhecimento e disseminar a ciência, a tecnologia, a informação, a cultura e a arte na sociedade por intermédio do ensino público e gratuito da pesquisa e da extensão, visando à melhoria da qualidade de vida, à difusão de valores éticos e democráticos, à inclusão social e ao desenvolvimento sustentável (UFU, 2017b).

Mesmo criada em 1950, a UFU só foi autorizada a funcionar em 14 de agosto de 1969 pelo Decreto-lei nº 762 e se tornou uma Universidade Federal através da Lei nº 6.532, de 24 de maio de 1978. A UFU tem autonomia didático-científica, administrativa e de gestão financeira e patrimonial. Sua organização e funcionamento são orientados por legislação federal, por seu Estatuto, Regimento Geral e por normas internas (UFU, 2017b).

A Figura 8 apresenta o *campus* de Santa Mônica, um dos *campi* da Universidade Federal de Uberlândia.



Figura 8 – Universidade Federal de Uberlândia/MG - Campus Santa Mônica.
Fonte: UFU CAMPI (2017).

A UFU conta, em 2017, com sete *campi* universitários. Na sede em Uberlândia encontram-se quatro *campi* (Educação Física, Glória, Santa Mônica e Umuarama), e três distribuídos nas cidades de Ituiutaba, Monte Carmelo e Patos de Minas (UFU, 2017b).

Em 2017, a UFU ofereceu 75 cursos de graduação (UFU, 2017c), 20 de doutorado, 39 de mestrado acadêmico, seis de mestrado profissional e diversos cursos de especialização *lato-sensu* (UFU, 2017d), além de cursos técnicos da área de saúde e meio ambiente realizados pela Escola Técnica de Saúde (ESTES) (UFU, 2017e). Com relação ao ensino a distância, somam-se seis cursos de graduação, cinco de especialização, onze de extensão e oito de aperfeiçoamento (UFU, 2017f).

A UFU é o principal centro de referência em ciência e tecnologia de uma ampla região do Brasil Central, que engloba o Triângulo Mineiro, o Alto Paranaíba, o noroeste e partes do norte de Minas, o sul e o sudoeste de Goiás, o norte de São Paulo e o leste de Mato Grosso do Sul e do Mato Grosso.

A Figura 9 apresenta o *Campus* Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia.



Figura 9 – Universidade Federal de Uberlândia/MG - *Campus Umuarama*.
Fonte: UFU CAMPI (2017).

A Universidade conta ainda com um Hospital de Clínicas, (Figura 10), um Hospital do Câncer, um Hospital Odontológico, um Hospital Veterinário (UFU, 2017g) e uma escola de ensino básico (Escola de Educação Básica - ESEBA) (UFU, 2017h). A UFU possui 22.453 alunos distribuídos em todos os *campi* universitários (UFU, 2017b).



Figura 10 – Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia/MG.
Fonte: UFU Hospital de Clínicas (2017).

3.2 Metodologia

Para a realização desta pesquisa, foram executadas quatro etapas: levantamento bibliográfico, levantamento documental, buscas em *sites* de empresas, telefonemas e *e-mails* e cálculo da viabilidade econômico-financeira da substituição das lâmpadas fluorescentes por LEDs.

3.2.1 Levantamento bibliográfico

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica a partir de fontes primárias, tais como livros, revistas científicas, produções acadêmicas, teses e dissertações, tanto de forma impressa quanto eletrônica.

Para atender aos objetivos propostos neste estudo, foi realizada uma pesquisa de caráter exploratório e descritivo. A pesquisa foi exploratória, porque buscou como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, com vistas na formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. Além disso, possuiu caráter descritivo, pois teve como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis (GIL, 2002). As pesquisas descritivas são, juntamente com as exploratórias, as que, habitualmente, realizam os pesquisadores sociais preocupados com a atuação prática.

Quanto à forma de abordagem, a pesquisa foi qualitativa e quantitativa. Segundo Lakatos (2015), a pesquisa qualitativa fornece uma compreensão profunda de certos fenômenos sociais, apoiados no pressuposto de maior relevância do aspecto subjetivo da ação social, visto que foca fenômenos complexos e/ou únicos. Quantitativa porque apura opiniões e atitudes explícitas e conscientes de autores, cujo objetivo é mensurar e permitir o teste de hipóteses; mostra-se apropriada porque existiu a possibilidade de medidas quantificáveis de variáveis e inferências a partir de amostras numéricas, ou busca padrões numéricos relacionados a conceitos.

3.2.2 Levantamento documental

Em uma segunda etapa, foram realizadas, no período de janeiro a agosto de 2017, pesquisas em documentos oficiais arquivados na Universidade Federal de Uberlândia dos últimos três anos.

Primeiramente, foram solicitadas à Diretoria de Sustentabilidade cópias dos projetos básicos e à Diretoria de Compras e Licitações, cópias dos pregões realizados nos anos de 2014, 2015 e 2016 para recolhimento das lâmpadas queimadas.

Os pregões eletrônicos para a aquisição das lâmpadas fluorescentes, LEDs e reatores, bem como os pregões para a retirada das lâmpadas, podem ser consultados no *site* da UFU ou no Portal de Compras do Governo Federal (COMPRASNET) do Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão.

Acessos ao *site* da UFU também foram realizados nos meses de julho e agosto de 2017 com intuito de consultar pregões elaborados para a compra de lâmpadas fluorescentes, lâmpadas LEDs e de reatores, que embasaram os cálculos financeiros realizados.

Os valores unitários atualizados de cada item pagos pela UFU são necessários para que a viabilidade econômica da substituição seja demonstrada.

No final do primeiro semestre, contatos telefônicos e *e-mails* foram enviados a algumas Divisões da Prefeitura Universitária solicitando informações para embasar os cálculos que foram realizados para verificar custos com compra, mão de obra na substituição e recolhimento das lâmpadas fluorescentes, além dos custos com energia elétrica.

A Divisão de Execução Financeira disponibilizou informações referentes à durabilidade das lâmpadas fluorescentes utilizadas na Instituição para favorecer a operação quanto à quantidade necessária para se fazer a troca na amostra estudada.

A Divisão de Elaboração de Projetos Básicos e Acompanhamentos de Contrato da Prefeitura Universitária disponibilizou dados referentes aos valores de mão de obra pagos aos eletricitistas e ajudantes de eletricitistas.

A Diretoria de Sustentabilidade forneceu o valor que a UFU paga pelo kWh consumido.

Nos dias 03 e 31 de maio de 2017, foram realizadas visitas ao local de armazenamento das lâmpadas descartadas na UFU em Uberlândia/MG com o objetivo de se efetuarem registros fotográficos documentando a situação das lâmpadas até o momento de sua retirada por uma empresa terceirizada.

3.2.3 Levantamento via *sites* de empresas, telefonemas e *e-mails*

Foram consultados *sites* e enviados *e-mails* para empresas que importam, distribuem e revendem lâmpadas fluorescentes com o intuito de se obterem informações sobre a logística reversa no Brasil em relação ao pós-uso. Somente três empresas responderam informando que existe um esforço das mesmas juntamente com órgãos federais para a implantação da logística reversa no país e que, em sua maioria, são sócias de uma associação de produtores e importadores de lâmpadas sem fins lucrativos chamada RECICLUS.

A associação reúne os principais produtores e importadores de lâmpadas do Brasil com o objetivo de promover o sistema de logística reversa, envolvendo, além da cadeia produtiva, toda a sociedade em um grande movimento estruturado de coleta de lâmpadas ao final de seu uso e sua destinação final ambientalmente adequada.

E-mails foram enviados para empresas que reciclam lâmpadas fluorescentes com questionamentos sobre o descarte, armazenamento, processos utilizados, destino dos materiais após passarem pelo processo de reciclagem e os custos desses processos. Contudo somente duas empresas responderam e informaram quais processos utilizam, ou seja, que revendem os materiais que podem ser reaproveitados para as indústrias, fazem a coleta das lâmpadas fluorescentes em todo o território nacional e que o quantitativo depende do porte da empresa que solicitou o serviço.

3.2.4 Cálculo da substituição das lâmpadas

Para demonstrar o custo-benefício de lâmpadas fluorescentes e LEDs, cálculos foram realizados a partir de uma amostra de 1.000 lâmpadas, tomando-se como base 26 salas de aula do bloco 5R localizado no *Campus* Santa Mônica na cidade de Uberlândia/MG.

Os engenheiros da Divisão de Execução Física informaram que o tempo de vida útil das lâmpadas fluorescentes utilizadas nas dependências da UFU é de três meses.

Para a reposição das lâmpadas fluorescentes e LEDs foi levado em consideração o calendário acadêmico da instituição em que o ano letivo é composto por 2 semestres de 4 meses em atividade acadêmica, totalizando 8 meses, representando uma análise anual considerando os outros 4 meses de férias acadêmicas.

Para se determinar quantas lâmpadas fluorescentes são necessárias para a substituição de 1.000 unidades do bloco em estudo, dois cenários foram projetados. Primeiramente, calculou-se a vida útil em horas das lâmpadas fluorescentes e, para isso, determinou-se que elas ficam acesas 12 horas por dia, 5 dias por semana, 4 semanas por mês durante 3 meses, ou seja, 720 horas ($12 \times 5 \times 4 \times 3$). Em seguida calculou-se a quantidade em horas em que as lâmpadas fluorescentes ficam acesas por meio da seguinte operação: 12 horas por dia x 5 dias por semana x 4 semanas por mês x 8 meses (calendário acadêmico). Posteriormente, multiplicou-se a quantidade da amostra (1.000 unidades) por 1920 h (tempo de vida útil) e dividiu-se pela quantidade de horas em que elas ficam acesas (720 h).

É necessário um reator para que cada duas lâmpadas fluorescentes possam funcionar e, segundo os fabricantes, seu tempo de vida útil é de dois anos, portanto, para a amostra de 1.000 lâmpadas são necessárias 500 unidades.

Uma vez que o tempo de vida útil dos reatores (24 meses) é maior que o tempo considerado neste estudo (18 meses), não será necessária sua substituição, somente provisão orçamentária. Os cálculos para determinar a quantidade de lâmpadas a ser provisionada foram

efetuados por meio da seguinte operação: primeiramente, calculou-se a vida útil em horas, multiplicando-se 12 horas por dia, 5 dias por semana, 4 semanas por mês durante 24 meses, ou seja, 5.760 horas ($12 \times 5 \times 4 \times 24$). Em seguida, calculou-se sua quantidade total, multiplicando-se 500 unidades (quantidade necessária de reatores para as 1.000 lâmpadas fluorescentes da amostra) por 1.920 horas (quantidade de horas em que os reatores são utilizados – 12 horas x 5 dias x 4 semanas x 8 meses) e dividiu-se quantidade de vida útil em horas (5.760), o que gerou o valor de 166,66, ou 167 em valor aproximado para mais.

Para determinar a quantidade de lâmpadas LEDs necessárias para substituir as 1.000 unidades de lâmpadas fluorescentes da amostra nos dois cenários, foram realizados os seguintes cálculos: primeiramente, calculou-se a vida útil em horas das LEDs, determinando-se que elas ficam acessas 12 horas por dia, 5 dias por semana, 4 semanas por mês durante 18 e 167 meses, ou seja, 4.320 ($12 \times 5 \times 4 \times 18$) e 40.080 horas ($12 \times 5 \times 4 \times 167$), respectivamente (foi considerado, para os cálculos, o valor arredondado de 40.000 horas). O tempo de vida útil foi estimado em 18 meses, porque a eletrônica empregada na fabricação dessas lâmpadas utilizadas na UFU possui uma qualidade inferior, o que faz com que sua durabilidade seja muito menor do que o afirmado pelos fabricantes. A partir dessas informações, foram considerados dois cenários: o primeiro, considerando a vida útil de 18 meses e o segundo, de 40.000 h, que é a vida útil garantida pelos fabricantes de lâmpadas LEDs. Posteriormente, multiplicou-se a quantidade da amostra (1.000 unidades) por 1.920 horas (tempo de vida útil) e dividiu-se pela quantidade de horas em que elas ficam acesas (4.320 e 40.000 h).

Para verificar os custos com as lâmpadas fluorescentes, os seguintes cálculos foram realizados a partir de informações extraídas dos projetos básicos e pregões efetuados pela UFU no primeiro semestre de 2017, ou seja, primeiramente, verificou-se o preço unitário de compra da lâmpada fluorescente de 32 W, o valor para se retirar cada lâmpada inteira (que corresponde a 99% do total), somou-se ao custo para se retirarem as lâmpadas quebradas (1% do total), o valor unitário de cada reator e o custo da mão de obra utilizada na substituição.

Para as LEDs, o tempo de vida útil foi estimado em 18 meses, porque a eletrônica utilizada na fabricação dessas lâmpadas utilizadas na UFU possui uma qualidade inferior, o que faz com que sua durabilidade seja muito menor do que o afirmado pelos fabricantes. A partir dessas informações, foram considerados dois cenários: o primeiro considerando a vida útil de 18 meses e o segundo, de 40.000 h, que é a vida útil garantida pelos fabricantes de lâmpadas LEDs.

As lâmpadas tubulares LEDs, que correspondem às fluorescentes de 32 W, hoje utilizadas na UFU, são as T8 19 W + reator incluso. Para verificar o custo da substituição, foram

considerados o preço unitário de compra, também consultado no pregão eletrônico realizado pela UFU no primeiro semestre de 2017, e o valor da mão de obra fornecido pela Divisão de Execução Física.

Para calcular o custo energético das lâmpadas fluorescentes de 32 W e tubulares T8 19 W LED, primeiramente se calculou a quantidade de horas em que elas ficam ligadas. Considerou-se que os dois tipos de lâmpadas ficam ligados 12 horas por dia, durante 5 dias por semana, 4 semanas por mês e em um período total de 18 meses, ou seja, 1.920 horas.

Depois, calculou-se a potência (W) dos dois tipos analisados. Para as lâmpadas fluorescentes, multiplicou-se a quantidade da amostra (1000) pela potência em W (32) e somou-se ao resultado da multiplicação da potência do reator em W (15) pelo quantitativo de reator utilizado (500), ou seja, 39.500 W. Para a LED, multiplicou-se a quantidade da amostra (1000) pela potência em W (19), ou seja 19.000 W.

O valor do kWh médio pago pela UFU para a concessionária de energia elétrica de Minas Gerais de R\$ 0,37 foi informado pela Diretoria de Sustentabilidade.

O valor total em reais dos custos energéticos em kWh é o resultado da multiplicação do gasto em horas pela potência (W), dividido pela quantidade da amostra, multiplicado pelo custo do kWh, ou seja, 1.920 h vezes 39.500 W de lâmpadas fluorescentes e 19.000 de lâmpadas LEDs, dividido 1000 x 0,37.

3.2.4.1 Análise da potência reativa na substituição das lâmpadas

A gestão energética é importante e amplamente discutida em razão da preocupação com a sustentabilidade ambiental, isto é, respeito aos recursos naturais, economia no consumo de energia elétrica e respectivos reflexos sociais, em razão do uso racional desse bem. Por essa razão, os custos relacionados ao gasto energético foram considerados neste estudo. É importante destacar que o fator de potência indica qual porcentagem da potência total fornecida (kVA) é efetivamente utilizada como potência ativa (kW). Assim, o fator de potência mostra o grau de eficiência do uso dos sistemas elétricos. Valores altos de fator de potência (próximos a 1,0) indicam uso eficiente da energia elétrica, enquanto valores baixos evidenciam seu mau aproveitamento, além de representar uma sobrecarga para todo o sistema elétrico.

As causas mais comuns da ocorrência de baixo fator de potência são:

1. motores e transformadores operando em “vazio” ou com pequenas cargas;
2. motores e transformadores superdimensionados, grande quantidade de motores de pequena potência;

3. máquinas de solda;
4. lâmpadas de descarga: fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio, sem reatores de alto fator de potência.

As perdas de energia elétrica ocorrem em forma de calor e são proporcionais ao quadrado da corrente total. Como essa corrente cresce com o excesso de energia reativa, estabelece-se uma relação direta entre o incremento das perdas e o baixo fator de potência, provocando o aumento do aquecimento de condutores e equipamentos.

Assim, enquanto a potência ativa é sempre consumida na execução de trabalho, a potência reativa, além de não produzir trabalho, circula entre a carga e a fonte de alimentação, ocupando um “espaço” no sistema elétrico que poderia ser utilizado para fornecer mais energia ativa. A potência ativa e a potência reativa, juntas, constituem a potência aparente, medida em kVA (quilo-voltampère), que é a potência total gerada e transmitida à carga.

Neste estudo, foi dada grande importância à causa 4 dos principais motivos do baixo fator de potência, que são as lâmpadas de descarga: fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio, sem reatores de alto fator de potência.

As lâmpadas fluorescentes aumentam a potência reativa, além de não produzirem trabalho de luminescência acarretando a diminuição do fator de potência. A expectativa de ganho com a substituição por LED é diminuir o consumo de energia elétrica, assim como a diminuição da potência reativa requerida que melhorará a gestão energética, o que, certamente, diminuirá a conta da energia elétrica que é paga mensalmente, porém, a quantificação desta melhoria não será objeto de estudo para este trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira etapa deste estudo foi verificar como é realizado o descarte das lâmpadas fluorescentes na UFU, a forma como é executado o processo de licitação para a compra das mesmas e de que modo é executada sua retirada pós-consumo.

4.1 Projeto básico para gerenciamento de resíduos sólidos da Universidade Federal de Uberlândia/MG

O projeto básico é elaborado com o intuito de planejar, estudar e agir de forma correta quanto ao recolhimento das lâmpadas fluorescentes. Esse projeto orienta a contratação de empresa especializada no serviço de descarte de lâmpadas fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio, que estão depositadas na Universidade Federal de Uberlândia.

O projeto estabelece normas gerais e específicas, métodos de trabalho e padrões de conduta para prestar serviços de coleta, descarte, descontaminação e reciclagem de lâmpadas fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio e vapor metálico com as quantidades e locais indicados, incluindo o transporte, mão de obra para o acondicionamento das lâmpadas e vasilhames apropriados indevassáveis.

Contratação de empresa especializada por preço global na prestação de serviços especializados para coleta, armazenamento, transporte, descontaminação, reciclagem e descarte dos resíduos não aproveitáveis de lâmpadas usadas, inteiras e fragmentadas, com recuperação dos componentes (vidro, alumínio e mercúrio) geradas pelas unidades da Universidade Federal de Uberlândia, que contém mercúrio metálico, dos tipos fluorescentes (de qualquer tamanho e forma, inclusive as compactas), de vapor de sódio, de vapor metálico, lâmpadas mistas, halogêneos e outros tipos de uso técnico especializado, atendendo integralmente aos incisos VII, VIII, XV e XVI do artigo 3º e artigo IX, da Lei 12.305/2010 que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (UFU, 2014a, p. 3; UFU, 2015a, p. 3).

Todos os custos do processo, desde o transporte até a destinação final dos resíduos, são de responsabilidade da empresa contratada através de licitação.

O serviço de coleta é executado nas dependências da Universidade Federal de Uberlândia no prazo determinado no pregão eletrônico. As lâmpadas a serem descartadas deverão ser acondicionadas em vasilhames apropriados indevassáveis, lacrados, quantificados e rotulados com todas as indicações legais. O transporte deverá ser feito em veículo apropriado, rotulado, licenciado conforme as normas para transporte de resíduos perigosos e de acordo com

o Decreto n. 96.044, de 18 de maio de 1988 (BRASIL, 1988a), ou posterior, que aprova o regulamento para o transporte rodoviário de produtos perigosos.

A limpeza do local deverá ser providenciada imediatamente, retirando de seus acessos no entorno e demais partes afetadas com a execução dos serviços. No entanto, o processamento não poderá ser realizado nas dependências da Universidade Federal de Uberlândia, ou seja, as lâmpadas devem ser processadas na sede na qual a licitante vencedora apresentou as documentações de habilitação. O processo deve ser realizado de acordo com as normas ambientais e de segurança. O ambiente deve ser controlado e seguro, e seus funcionários devem, obrigatoriamente, utilizar os equipamentos de proteção individual e coletivos. Os resíduos devem ser descontaminados e reciclados atendendo às normas vigentes.

4.2 Edital de licitação

O edital de licitação é regido pelas Leis Federais nº 8.666/93 (BRASIL, 1993) e nº 10.520/02 (BRASIL, 2002), sendo um processo de suma importância para a contratação de uma empresa que fará o serviço de coleta, descarte, descontaminação e reciclagem de lâmpadas fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio e vapor metálico entre outras. O edital inclui transporte, mão de obra, acondicionamento das lâmpadas e fornecimento de vasilhames apropriados indevassáveis. Somente através desse edital se pode contratar a empresa, que deve estar habilitada de acordo com as normas e leis exigidas pela Universidade Federal de Uberlândia.

Os editais relacionados aos anos de 2014 (pregão eletrônico número 006/2014) (UFU, 2014b; COMPRASNET, 2016) e 2015 (pregão eletrônico número 076/2015) (UFU, 2015b; COMPRASNET, 2016) podem ser consultados no *site* da Universidade Federal de Uberlândia, na página da Divisão de Licitações, Compras e Contratos e/ou no *site* de compras do governo federal denominado Comprasnet. Em 2014, a licitação ocorreu em maio e, em 2015, em setembro, tendo mais de um ano de diferença entre as licitações, o que justifica o grande acúmulo de lâmpadas descartadas no estoque. Em novembro de 2017, o recolhimento das lâmpadas fluorescentes ainda não foi efetivado, e a confecção do processo de licitação está em andamento. Foi analisado o projeto básico de 2017 para colher informações que viabilizaram a análise e os cálculos efetuados neste estudo.

4.2.1 Participação do processo de licitação

Para participarem do processo licitatório, as licitantes deverão estar em dia com o Sistema de Cadastramento Unificado de Fornecedores (SICAF). Além da documentação necessária conforme legislação vigente e edital, deverão apresentar os seguintes documentos: Licença Ambiental, Certificado de Dispensa de Licenciamento Ambiental de Operação, Licença ou Autorização Ambiental, Alvará de Licença de Funcionamento, Certificado de Vistoria, Cadastro Técnico Federal, Atestado de Visita Técnica, Proposta Comercial, Termo de Responsabilidade, Documento de Operação com Mercúrio Metálico, Certificado de Registro, Certificado de Anotação de Função Técnica e descrição detalhada de todo o serviço a ser executado.

A empresa interessada em participar da licitação terá que examinar o edital disponível no *site* ou requerer cópia na Comissão Permanente de Licitação. A empresa só arcará com ônus se optar em requerer cópia. Após divulgação do edital, as empresas devem encaminhar suas propostas com descrição dos serviços e preços. O pregão é realizado em data e hora marcadas.

4.3 Descarte das lâmpadas fluorescentes na Universidade Federal de Uberlândia

As lâmpadas fluorescentes contêm substâncias nocivas ao meio ambiente, como metais pesados, dentre os quais sobressai o mercúrio metálico. Ao se romper, a lâmpada libera seu conteúdo de vapor de mercúrio que, quando aspirado, causa intoxicação. Por essa razão, é de suma importância que a coleta, descarte, transporte, descontaminação e destinação final sejam executados por empresa especializada que cumpra as leis e normas previstas na legislação ambiental.

Leis foram criadas tanto no âmbito federal quanto estadual e municipal com o intuito de dar um destino correto para os resíduos sólidos, principalmente àqueles que trazem risco de contaminação química para o solo e risco à saúde da população. Assim, de acordo com Miquiluchi (2011, p. 87), existem divergências quanto à resolução de alguns estados para a destinação final dos seus resíduos.

Em Minas Gerais, a Lei nº 13.796 de 2000, atribui ao Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) a competência de estabelecer normas para recolhimento, reutilização e reciclagem. O tratamento ou disposição final ambientalmente adequada de resíduo sólido – disquete de computador, lâmpada fluorescente, pilha e bateria – que, por sua composição físico-química, necessita de procedimentos especiais para descarte no meio ambiente (MINAS GERAIS, 2000b).

No Estado de São Paulo, a Lei nº 10.888, de 2001 trata do descarte de produtos potencialmente perigosos junto ao resíduo urbano, tais como: pilhas, baterias, lâmpadas fluorescentes e frascos de aerossóis em geral. Essa lei, no artigo 2º, estabelece que cabe aos fabricantes, distribuidores, importadores, comerciantes ou revendedores, a responsabilidade pelo recolhimento, pela descontaminação e pela destinação final de resíduos contendo produtos potencialmente perigosos ao resíduo urbano (SÃO PAULO, 2001).

O município de Americana, no estado de São Paulo, através da Lei nº 3.578 de 2001, dispõe sobre a responsabilidade da destinação de pilhas, baterias e lâmpadas usadas e dá outras providências. Essa lei atribui às empresas fabricantes, importadoras, distribuidoras ou revendedoras de pilhas, baterias e lâmpadas, com sede no município de Americana, a responsabilidade pela destinação ambientalmente correta e dentro das normas e tecnologias atuais, a esses produtos e equipamentos, mediante procedimentos de coleta, reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final, após seu esgotamento energético ou vida útil e a respectiva entrega pelos usuários aos estabelecimentos que as comercializam ou à rede de assistência técnica autorizada (AMERICANA, 2001).

Em Campinas, a Lei nº 11.294 de 2002 proíbe a disposição de lâmpadas fluorescentes, que utilizam mercúrios metálicos, e similares em aterros sanitários (CAMPINAS, 2002).

O Rio Grande do Sul, por meio da Lei nº 11.187 de 1998, estabelece normas para o descarte de pilhas, baterias e lâmpadas fluorescentes que contenham mercúrio, proibindo a disposição em depósitos públicos de resíduos sólidos e a sua incineração (RIO GRANDE DO SUL, 1998).

Na Universidade Federal de Uberlândia, para o descarte adequado e ecologicamente correto das lâmpadas, é necessária a contratação de uma empresa terceirizada que, por meio do processo de licitação, retire as lâmpadas quando os locais de armazenamento estão em seu limite máximo conforme evidencia a Figura 11.

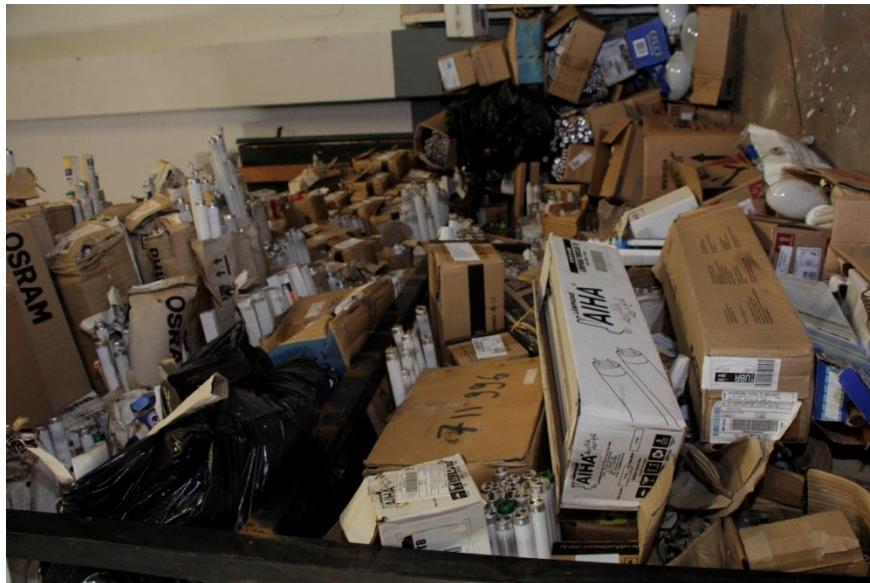


Figura 11 – Armazenamento de lâmpadas no depósito da UFU – visão superior.
Fonte: Os autores (2017).

A Universidade Federal de Uberlândia elaborou, em agosto de 2017, um projeto básico para a retirada das lâmpadas fluorescentes orientando na contratação de empresa especializada no serviço de descontaminação e descarte de lâmpadas que contêm mercúrio metálico dos tipos fluorescentes, de vapor de mercúrio, de vapor de sódio, de vapor metálico, lâmpadas mistas, halogêneos e outros tipos de uso técnico especializado, que estão depositados na área do *campus*, em local próprio para esse fim (Figura 12).



Figura 12 – Armazenamento de lâmpadas em caixas abertas dentro do depósito da UFU.
Fonte: Os autores (2017).

Esse projeto estabelece, também, normas gerais e específicas, métodos de trabalho e padrões de conduta para os serviços de manuseio, transporte e descarte dessas lâmpadas, uma vez que, da forma como são armazenadas, podem quebrar-se e liberar produtos tóxicos (Figura 13).

Um dos serviços descritos no projeto básico da UFU diz respeito ao transporte, descontaminação e destino final das lâmpadas (UFU, 2015a).

Além de acondicionar as lâmpadas em vasilhames apropriados indevassáveis que garantam o transporte com segurança, a empresa Licitante vencedora deverá fazer a descontaminação do material e a reciclagem dos resíduos aproveitáveis. O descarte dos resíduos não aproveitáveis deverá ser feito em local aprovado pelo órgão ambiental competente (UFU, 2015a, p. 5).



Figura 13 – Armazenamento de lâmpadas fluorescentes da UFU/MG – visão lateral.
Fonte: Os autores (2017).

As lâmpadas estão depositadas umas sobre as outras, e as caixas, em sua maioria, estão abertas e rasgadas. Outras lâmpadas estão armazenadas em sacos de lixo preto e não possuem qualquer segurança ou proteção contra quebras ou trincas; se isso ocorrer, o mercúrio pode ser liberado e causar danos à saúde humana e ao meio ambiente (Figura 14).



Figura 14 – Armazenamento de lâmpadas fluorescentes da UFU/MG – visão geral.
Fonte: Os autores (2017).

Em um estudo efetuado por Cestari e Martins (2015) na Universidade Estadual de Maringá (UEM), as lâmpadas ficam depositadas em dois almoxarifados construídos para armazenarem produtos descartados. O que ocorre nesta universidade é bem semelhante com o que ocorre na Universidade Federal de Uberlândia.

Observou-se no almoxarifado central da UEM que as lâmpadas se encontram armazenadas em um cômodo à parte construído com madeira e cobertura em *eternit*, propensas aos efeitos do tempo (chuva, sol, ventos e tempestades), e estão embaladas em papel e papelão; verificou-se que as lâmpadas estão acondicionadas em suas próprias embalagens, não havendo preocupação com quebras; foram encontradas muitas lâmpadas em caixas de papelão sem nenhum cuidado para evitar contaminação e sem nenhuma informação tratando de lâmpadas quebradas por mercúrio; não foi observado nenhum uso de EPI por parte dos funcionários, constatando local aberto com trânsito frequente de pessoas; nos almoxarifados visitados nenhum tipo de alerta foi observado quanto à quebra do tubo de descarga ou ampola, ou dos danos nas extremidades da lâmpada, podendo ocorrer evaporação de mercúrio do tubo e consequente contaminação humana e ambiental; não foi encontrada nenhuma orientação quanto à quebra acidental de lâmpada, situação na qual deverá ser providenciada coleta imediata, limpeza local e a abertura de portas e janelas para circulação do ar (CESTARI; MARTINS, 2015, p. 133).

Em um estudo realizado por Santos (2015) sobre logística reversa de lâmpadas na Universidade Federal do Pará, verificou-se que o processo de armazenamento das lâmpadas é semelhante ao realizado pela Universidade Federal de Uberlândia.

As lâmpadas pós-consumo retiradas dos postes e passarelas são levadas, segundo os técnicos da terceirizada, para um almoxarifado da própria empresa permanecendo na caixa de papelão, que foram transportadas, misturadas a outros materiais sem identificação ou selo que indique a natureza dos resíduos. Em seguida são doadas informalmente ou recebem outra destinação que não é de conhecimento dos técnicos (SANTOS, 2015, p. 11)

As lâmpadas, ao serem descartadas, deverão ser acondicionadas em vasilhames apropriados, indevassáveis, lacrados, quantificados e rotulados com todas as indicações legais. O que se percebe, porém, é um armazenamento inadequado que não segue as normas de segurança, constituindo um ambiente de risco para acidentes e contaminação química.

O armazenamento dessas lâmpadas ocorre durante todo o ano, ocasionando um acúmulo muito grande desse material e aumento dos riscos de contaminação por quebra das lâmpadas que se encontram armazenadas de forma incorreta (Figura 15).



Figura 15 – Armazenamento de lâmpadas com outros resíduos no mesmo local.
Fonte: Os autores (2017).

Os galpões não possuem condições físicas para o armazenamento, nem têm qualquer mapeamento de risco no local para os funcionários que se deslocam até esse ambiente para depositar novas lâmpadas inservíveis.

Tem-se como ideal que o depósito seja somente para esse tipo de resíduo e as caixas, lacradas de forma correta sem oferecer risco das lâmpadas se romperem com algum impacto ou ficarem à mostra, entulhadas umas sobre as outras.

Cestari e Martins (2015) demonstram que, na Universidade Estadual de Maringá (UEM), o armazenamento das lâmpadas fluorescentes é semelhante ao da UFU.

As lâmpadas fluorescentes pós-consumo encontram-se armazenadas em local adaptado, de madeira e com cobertura em telhas de fibrocimento, propensas aos efeitos do tempo (chuva, sol, ventos e tempestades), embaladas em papel e papelão. Constatou-se também que as lâmpadas são acondicionadas em suas próprias embalagens, não havendo preocupação com quebras. Foram encontradas muitas lâmpadas em caixas de papelão sem nenhum cuidado para evitar contaminação e sem nenhuma informação tratando de lâmpadas quebradas por mercúrio (CESTARI; MARTINS, 2015, p. 132).

As caixas estão acondicionadas em um local onde vários outros objetos estão armazenados, o que aumenta o risco para os servidores, pois algumas lâmpadas podem estar quebradas ou trincadas liberando produto tóxico que, se inalado, pode causar danos à saúde.

A Universidade Federal de Uberlândia ainda utiliza um pequeno número de lâmpadas de vapor de sódio nas ruas internas dos *campi*, que, gradativamente, estão sendo substituídas (Figura 16).



Figura 16 – Lâmpadas de vapor de sódio.
Fonte: Os autores (2017).

4.4 Quantidade estimada de lâmpadas para descarte

Foi realizado um levantamento das lâmpadas fluorescentes descartadas nas unidades da Universidade Federal de Uberlândia nos últimos três anos, já que, anteriormente, essa contagem não era executada, sendo o descarte efetuado em lixo comum.

Para o descarte das lâmpadas, foram elaborados projetos básicos, orçamentos e processos licitatórios que viabilizaram a contratação de empresas terceirizadas que efetuaram o recolhimento após atendidas todas as etapas dos processos legalmente exigidos (UFU 2014a; UFU, 2015a).

Em 2014, a quantidade descartada de lâmpadas inteiras foi de 30.120 unidades e a quantidade de lâmpadas quebradas foi de 30 kg, conforme Tabela 9. Não se teve acesso ao orçamento de 2014.

Tabela 9 – Lâmpadas descartadas no ano de 2014 nas unidades da UFU/MG

Local de retirada	Lâmpadas inteiras					Lâmpadas quebradas (kg)
	Fluorescente (unid.)	Vapor de Sódio (unid.)	Vapor de Mercúrio (unid.)	Vapor Metálico (unid.)	Lâmpadas compactas (unid.)	
<i>Campus</i> Umuarama	10.000	20	-	-	20	10
<i>Campus</i> Sta. Mônica	20.000	30	05	15	30	20
Total de lâmpadas	30.000	50	05	15	50	30
TOTAL			30.120			30

Fonte: UFU (2014a).

A empresa vencedora do processo licitatório decorrente do Pregão nº 061/2014 foi a Ambserv Sul Serviços Ambientais Ltda., que apresentou o melhor lance para prestação desse serviço, ou seja, o valor de R\$ 37.900,00.

Vários estudos mostram que o custo da reciclagem no Brasil é variável.

O custo pela reciclagem no Brasil varia entre R\$ 0,45 e R\$ 0,75, segundo dados da Globo News (2008). Somados a este valor são cobrados o custo do transporte que em algumas destas empresas recicladoras não são cobrados. A embalagem e o seguro contra acidentes também são acrescentados ao custo da reciclagem (DURÃO JÚNIOR; WINDMÖLLER, 2008, p. 16).

Na logística reversa de pós-consumo, as empresas de reciclagem e o mercado secundário de matérias-primas lucram com a reciclagem de lâmpadas fluorescentes, ou seja, as empresas que reciclam vendem para as empresas que utilizam essas matérias-primas secundárias em seus processos (estas também lucram, pois, essas matérias-primas secundárias apresentam preços inferiores quando comparados aos das matérias-primas novas) (MIQUILUCHI; GONÇALVES, 2012).

No ano de 2015, na UFU, foram retiradas 38.000 lâmpadas inteiras e 850 kg de lâmpadas quebradas conforme demonstra a Tabela 10.

Tabela 10 – Lâmpadas descartadas no ano de 2015 nas unidades da UFU/MG

Local de retirada	Lâmpadas Inteiras				Lâmpadas Quebradas (kg)
	Fluorescente (unid.)	Vapor de Sódio (unid.)	Compactas e incandescentes (unid.)	Vapor metálico (unid.)	
Hospital das Clínicas	3.000				125
Campus Umuarama	15.000	100	100	50	250
Campus Sta. Mônica	15.000	100	100	50	250
Campus Educação Física	1.000		100		25
Campus Patos de Minas	800		100		100
Campus Monte Carmelo	1.000				50
Campus Ituiutaba	1.500				50
Lâmpadas por categoria	37.300	200	400	100	850
TOTAL			38.000		850

Fonte: UFU (2015a).

O faturamento é feito após a contagem das lâmpadas e a definição dos tipos coletados, pois cada tipo de lâmpada tem um valor específico para a sua coleta, sendo necessário fazer a triagem e a seleção das mesmas. Lâmpadas maiores e com resíduos de mercúrio têm um valor maior por unidade para o recolhimento e transporte. Na Tabela 11, está apresentado o orçamento dos serviços que foram prestados, totalizando R\$ 86.935,00 em 2015.

Tabela 11 – Orçamento dos serviços de retirada de lâmpadas inteiras e quebradas no ano de 2015 na UFU/MG

Tipo de serviço	Quantidade	Unidade	Valor Referência em reais (R\$)	
			Unitário	Total
Retirada de lâmpadas inteiras e destinação	38.000	Pça	2,12	R\$ 80.560,00
Retirada de lâmpadas quebradas e destinação	850	Kg	7,50	R\$ 6.375,00
Valor Global				R\$ 86.935,00

Fonte: UFU (2015a).

Em 2016, não houve recolhimento de lâmpadas queimadas na Universidade Federal de Uberlândia, sendo o levantamento para confecção do projeto básico realizado no mês de julho de 2017. O número de lâmpadas descartadas dobrou, ou seja, em outubro de 2015, foi de 38.000 unidades e, em setembro de 2017, foi de 78.000 conforme demonstra a Tabela 12.

Tabela 12 – Lâmpadas descartadas no período de outubro de 2015 a julho de 2017 nas unidades da UFU/MG

Local de retirada	Lâmpadas Inteiras				Lâmpadas quebradas (kg)
	Fluorescente (unid.)	Vapor de Sódio (unid.)	Compactas e Incandescentes (unid.)	Vapor metálico (unid.)	
Hospital das Clínicas	3.000				125
Campus Umuarama	35.000	100	100	50	250
Campus Sta. Mônica	35.000	100	100	50	250
Campus Educ. Física	1.000		100		25
Campus Patos de Minas	800		100		100
Campus Monte Carmelo	1.500				50
Campus Ituiutaba	1.500				50
Lâmpadas por categoria	77.800	200	400	100	850
TOTAL		78.000			850

Fonte: UFU (2017a).

Outras instituições de ensino superior também procuram descartar corretamente suas lâmpadas fluorescentes, como a Universidade Federal de Viçosa (UFV), que, de 2011 a 2014, descartou 60.000 lâmpadas de descarga inteiras junto a empresas licenciadas (COMINI et al., 2016), e a Universidade de São Paulo (USP capital), que, entre 2015 e 2017, encaminhou 106.343 lâmpadas fluorescentes inteiras e 332,6 kg de lâmpadas fluorescentes quebradas para tratamento, o que resultou em 14.221 kg de vidro, 830 kg de metal e 296 g de mercúrio reciclados (USP, 2017).

Todavia, embora o número de lâmpadas tenha dobrado, o valor mensal diminuiu, visto que o descarte, em 2015, abrangeu nove meses, totalizando 4.222 lâmpadas/mês e de outubro de 2015 a julho de 2017 foram 22 meses, com 3.545 lâmpadas/mês, o que pode ser justificado pela substituição parcial das lâmpadas em virtude da crise econômica.

Nos anos avaliados, a quantidade de lâmpadas fluorescentes foi bem superior aos demais tipos de lâmpadas (vapor de sódio, vapor de mercúrio, vapor metálico, compactas e incandescentes), representando entre 98,1 a 93,9% de todas as lâmpadas descartadas na Instituição, o que indica o quanto é importante um gerenciamento correto e adequado desse resíduo tóxico.

De 2014 a julho/2017, a UFU descartou 144.600 lâmpadas fluorescentes tubulares inteiras. Sabe-se que cada lâmpada fluorescente tubular contém, em média, 0,015 g de mercúrio em seu interior (ZANICHELII et al., 2004) e, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011 (BRASIL, 2011), que define o valor máximo permitido (VMP) de mercúrio de 0,001 mg/L como o máximo para que uma água seja considerada potável, esta quantidade de mercúrio tem potencial para tornar 15.000 L de água inviáveis para fins potáveis. Assim, considerando-se apenas as lâmpadas fluorescentes inteiras descartadas, cerca de 2.169.000.000 L de água serão poupados de contaminação, o equivalente, em volume, a 867 piscinas olímpicas com a coleta e o descarte adequado desse resíduo tóxico.

Além disso, existe o risco de as lâmpadas se quebrarem e, segundo a Norma Regulatória nº 15 (BRASIL, 1978), que estabelece os limites de tolerância de trabalhadores a agentes químicos, para o mercúrio é de 0,04 mg/m³ de ar para 48 h de exposição semanal, e uma exposição a esse valor irá corresponder a aproximadamente 15-20 µg de Hg/L de sangue, o que indica uma duplicação do nível de mercúrio no sangue em relação às concentrações observadas em populações não expostas (1 a 8 µg/L) (REMPE; AMORIM; VASCONCELOS NETO, 2010). Assim, pode-se inferir, por meio de uma simulação, que a quebra de uma lâmpada fluorescente libera em média 15 mg de Hg e 1/3 desse Hg se vaporiza imediatamente,

ou seja, 5 mg de Hg, o que resultará em uma concentração de 0,1 mg/m³ em um ambiente com 45 m³ (25 m² e 1,8 m de altura). Sabe-se, ainda, que essa concentração, em um ambiente ventilado, estará próxima de zero em cerca de 30 minutos, mas, de qualquer forma, é importante concluir que existe risco aos trabalhadores locais, sendo necessário o treinamento e o uso de equipamento de proteção individual (EPI).

Para a retirada das lâmpadas no período de outubro de 2015 a julho de 2017, o orçamento foi de R\$ 171.735,00 (Tabela 13).

Tabela 13 – Orçamento dos serviços de retirada de lâmpadas inteiras e quebradas no período de outubro de 2015 a julho de 2017 nas unidades da UFU/MG

Tipo de serviço	Quantidade	Unidade	Valor Referência em reais (R\$)	
			Unitário	Total
Retirada de lâmpadas inteiras	78.000	Pça	2,12	R\$ 165.360,00
Retirada de lâmpadas quebradas	850	Kg	7,50	R\$ 6.375,00
Valor Global				R\$ 171.735,00

Fonte: UFU (2017a).

4.5 Estudo econômico da substituição de lâmpadas fluorescentes pelas LEDs na Universidade Federal de Uberlândia

No processo de seleção de um tipo de tecnologia nos sistemas de iluminação, um fator preponderante é o da eficiência energética, sendo decisivo na relação custo/benefício. Neste contexto, optou-se por calcular os custos que relacionam as tecnologias de lâmpadas fluorescentes e LEDs na UFU.

Após um estudo sobre a gestão de lâmpadas na UFU, pôde-se verificar que as lâmpadas fluorescentes têm um custo muito alto para a Instituição por diversos fatores. Dentre eles se destaca o ciclo de vida, que é bem menor que o ciclo de cada lâmpada LED. Para que as fluorescentes sejam recolhidas, transportadas, recicladas e recebam a destinação final ambientalmente correta, é necessário que a UFU desembolse um valor significativo, enquanto as LEDs não carecem desses tratamentos.

Para a reposição das lâmpadas fluorescentes por LEDs, foi levado em consideração o calendário acadêmico da Instituição segundo o qual o ano letivo é composto por 2 semestres de 4 meses em atividade acadêmica. Dessa forma, têm-se 8 meses de funcionamento das lâmpadas

e 4 meses restantes no ano com utilização irrelevante ao estudo, já que, nesses últimos meses, a Instituição se dedica à manutenção da rede elétrica e afins. Assim, o presente estudo considera o cálculo de 8 meses para a reposição das lâmpadas, o que representa uma análise anual incluindo o período de férias acadêmicas.

Tendo como amostra 1.000 lâmpadas fluorescentes, foram projetados dois cenários. O primeiro cenário considerou a vida útil da lâmpada fluorescente de 3 meses ou 720 horas, ou seja, 12 horas por dia, 5 dias por semana, 4 semanas por mês durante 3 meses, sendo este tempo de 3 meses informado pelos engenheiros responsáveis para sua substituição na Universidade.

Esta baixa durabilidade detectada na Instituição se justifica pelos seguintes motivos:

1. Durante o processo de instalação das lâmpadas fluorescentes tubulares, estas devem ser giradas pelas extremidades e não pelo bulbo de vidro; a empresa terceirizada não observa este procedimento;
2. Como a compra é realizada pelo preço, as lâmpadas fluorescentes tubulares compradas não têm especificação determinando o índice de reprodução de cor, o que é demandado para locais onde é importante a verificação da cor real dos produtos; por esta razão, as lâmpadas são substituídas ainda com muita luminescência porque a aparência é de baixo brilho;
3. Pelo mesmo processo de compra, a luminescência, que é a geração de luz sem calor, não é verificado qual das duas principais variedades de luminescência estão sendo adquiridas, se é por fluorescência ou por fosforescência, o que impacta a durabilidade da lâmpada em função da utilização;
4. Não existe especificação das lâmpadas fluorescentes para a instalação onde exista alguma restrição física como, por exemplo, em lugares com alto índice de umidade (banheiros com chuveiros, laboratórios com *spray* de água, tubulação de vapor etc.), que gera um alto índice de umidade, diminuindo o tempo de funcionamento da lâmpada; não existe restrição à instalação de lâmpadas fluorescentes onde houver muitos chaveamentos (liga/desliga) ou partidas de motores pesados que causam oscilação na frequência da rede;
5. Não existem protetores especiais que poderiam ser instalados na alimentação da rede de energia e desligá-las em dias de tempestade com raios.

Essas justificativas embasam-se em estudos feitos pelo Laboratório de Fotometria do Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (IEE, 2017). Não foi feito, porém, um estudo neste trabalho para afirmar exatamente se estes são os reais motivos deste tempo de vida tão inferior ao que é apresentado em catálogo. O intuito deste é avaliar a realidade vivida pela Instituição analisada, que apresenta especificidades diferentes das apresentadas pelos catálogos.

Outro ponto que justifica esse tempo de vida útil restrito é a quantidade de acionamentos para acendimento das lâmpadas através de interruptor fixo, o que acelera o desgaste das lâmpadas.

O desgaste do revestimento dos eletrodos depende do processo utilizado para ligar a lâmpada e do número de partidas a frio por horas de operação. A cada partida da lâmpada sem pré-aquecimento dos filamentos, há uma redução média de 8 horas em sua vida útil que costuma oscilar em torno de 15.000 horas (QIAN; LEE, 1999).

O Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO, 2017) afirma que a lâmpada LED mantém sua luminosidade a um bom nível em até 25 mil horas de durabilidade. Já os fabricantes oferecem garantia de 3 anos para lâmpadas LEDs com vida útil igual ou superior a 25.000 horas e garantia de 1 ano para casos em que a vida útil seja menor que 25.000 horas devido aos vários modelos existentes no mercado.

Considerando tais informações e sabedores de que, nas instituições públicas, o processo de licitação de compra de bens prioriza o menor preço e não a qualidade, os técnicos e profissionais da área elétrica ponderam que o tempo de vida útil será muito abaixo do informado pelos fabricantes, ou seja, a lâmpada pode até não ter queimado, mas não atenderá ao nível de luminosidade que um ambiente escolar exige. Assim, para as LEDs, a estimativa de funcionamento é de 18 meses ou 4.320 horas, que corresponde a 12 horas por dia, 5 dias por semana, 4 semanas por mês por 18 meses. Outro fator que determinou essa vida útil de 18 meses para as lâmpadas LEDs são alguns experimentos que estão em andamento na própria Instituição e indicam este valor.

No primeiro cenário, para a reposição das 1.000 lâmpadas fluorescentes serão necessárias 2.667 lâmpadas anualmente ($1.000 \text{ unidades} \times 12 \text{ h.dia}^{-1} \times 5 \text{ dias.semana}^{-1} \times 4 \text{ semanas.mês}^{-1} \times 8 \text{ meses}$ e dividido por 720 h) e 500 reatores com vida útil de 24 meses, segundo os fabricantes. Assim, para 1.000 lâmpadas fluorescentes e tendo os reatores uma durabilidade estimada de 5.760 h ($12 \text{ h.dia}^{-1} \times 5 \text{ dias.semana}^{-1} \times 4 \text{ semanas.mês}^{-1} \times 24 \text{ meses}$), serão necessários 167 reatores ($500 \text{ unidades} \times 12 \text{ h.dia}^{-1} \times 5 \text{ dias.semana}^{-1} \times 4 \text{ semanas.mês}^{-1} \times 8 \text{ meses}$ e dividido por 5.760 h). Quanto às LEDs para esta amostra de 1.000 unidades, serão necessárias 444 ($1.000 \text{ unidades} \times 12 \text{ h.dia}^{-1} \times 5 \text{ dias.semana}^{-1} \times 4 \text{ semanas.mês}^{-1} \times 8 \text{ meses}$ e dividido por 4.320 h) (Tabela 14).

Tabela 14 – Quantidade de lâmpadas previstas para substituição - cenário 1

Tipo de lâmpada	Quantidade	Tempo de vida/horas	Quantidade necessária para substituição
Lâmpada fluorescente	1.000	720	2.667
Reator	500	5760	167
Lâmpadas LEDs Tubulares T8 18W + Reator	1.000	4320	444

Fonte: Os autores (2017).

A UFU possui contratos com empresas terceirizadas para realizar serviços inerentes às funções de eletricista e ajudante, portanto os valores referentes aos custos dos dois profissionais considerados neste estudo para o cálculo da mão de obra foram retirados do contrato vigente.

Para o cálculo do valor da mão de obra em horas pagas aos eletricistas e ajudantes que executarão as substituições das lâmpadas fluorescentes pelas LEDs na UFU, considerou-se o custo mensal de cada profissional. O tempo utilizado na troca de uma lâmpada é de 15 minutos, o que corresponde ao valor total de R\$12,75 (Tabela 15). Para se chegar a esse valor do homem.h⁻¹ em reais para os profissionais, dividiu-se o custo de cada profissional (R\$ 6.311,04 e R\$ 4.913,15) por 220 h (equivalente a 44 h.semana⁻¹ x 5 semanas conforme CLT). Em seguida, calcularam-se os valores dos custos para substituição de cada lâmpada (dividindo-se o valor de R\$ 28,69 e R\$ 22,33 por 60 minutos e multiplicando por 15 minutos). Somaram-se os dois valores e obteve-se o custo total por troca de lâmpada.

Tabela 15 – Custos com mão-de-obra para substituição de lâmpadas fluorescentes e LEDs

Mão de obra eletricista/ajudante	Custo de mão de obra total para UFU (R\$)	Homem/hora (R\$)	Custo/lâmpada (R\$)
Eletricista	6.311,04	28,69	7,17
Ajudante	4.913,15	22,33	5,58
Total	11.224,19	51,02	12,75

Fonte: Os autores (2017).

Os valores dos custos da mão de obra do eletricista e ajudante por hora para os dois cenários estudados são os mesmos.

Segundo os fabricantes, as LEDs possuem vida útil média de 40.000 horas e não possuem a dificuldade com a partida como a lâmpada fluorescente. O INMETRO (2017) desenvolveu métodos para avaliar a vida do *chip* LED utilizado na fabricação das lâmpadas apresentadas pelos fabricantes. A partir dos ensaios feitos pelo instituto, criou-se um gráfico com a curva de depreciação da lâmpada demonstrando que, quando ela chegar às 25 mil horas de uso, a luminosidade não pode ser menor que 70%.

O tempo em horas de funcionamento estimado na embalagem não significa o tempo em que ela vai demorar para queimar, mas o período em que a lâmpada passará a funcionar com mais ou menos 70% da capacidade luminosa original. Os *chips* e capacitores também são avaliados individualmente.

Ainda segundo o INMETRO (2017), alguns fatores não relacionados com a qualidade do produto podem afetar sua durabilidade, como oscilações da rede elétrica ou mau contato no ponto de instalação.

Nesse cenário, para a reposição das 1.000 lâmpadas fluorescentes, são necessárias 2.667 lâmpadas anualmente, como já detalhado. Para que essas lâmpadas sejam recolhidas, as empresas contratadas cobram valores diferenciados para lâmpadas inteiras e quebradas. No universo de 2.667 lâmpadas retiradas, 99% foram considerados como lâmpadas inteiras, o que equivale ao quantitativo de 2.640 unidades, e o restante correspondente a 1%, como quebradas, o que representa 27 unidades da quantidade total necessárias para substituição.

Em contrapartida, para as mesmas 1.000 lâmpadas LEDs é necessária a provisão de recurso para 444 lâmpadas em 1 ano, considerando um tempo de vida de 18 meses para este tipo de lâmpada. Os custos são maiores na troca das lâmpadas fluorescentes, pois, além do gasto com a compra para reposição, ainda há custos com a retirada das lâmpadas do depósito de armazenamento e com a mão de obra conforme Tabela 16.

Ao comparar os tipos de lâmpadas em análise, é possível observar que a LED fica mais cara em valor unitário, porém, sua durabilidade possibilita menor quantidade de substituições já que só ocorrerá após um ano e meio. Nesse sentido, há, conseqüentemente, uma redução de custos, como mão de obra especializada, pois sua maior durabilidade implicará menor quantidade de trocas no período considerado.

Os valores dos custos com a compra das lâmpadas, dos reatores e da mão de obra para a retirada das lâmpadas fluorescentes ao longo de 12 meses estão expressos na Tabela 16. O valor gasto em um ano, considerando todos os custos, é de R\$ 55.373,36. Nesse período, não será necessário efetuar gastos com a manutenção das lâmpadas LEDs, somente uma provisão

orçamentária no valor de R\$ 23.421,00 incluindo mão de obra. A comparação de tais valores aponta uma economia de R\$ 31.952,36 no orçamento anual da Instituição.

Tabela 16 – Gasto anual com lâmpadas fluorescentes (LF) e LEDs em R\$ na UFU/MG - Cenário 1

Tipo de lâmpada	Unitário (R\$)	Gasto anual Quantidade	Valor total anual (R\$)
Lâmpada fluorescente 32W	4,93	2.667	13.148,31
Retirada de lâmpadas inteiras	2,12	2640	5.596,80
Retirada de lâmpadas quebradas	7,50	27	202,50
Reator	14,50	167	2.421,50
Mão de obra	12,75	2.667	34.004,25
Total custo lâmpada fluorescente (LF) (I)			55.373,36
Lâmpada LED Tubular T8 19W + Reator	40,00	444	17.760,00
Mão de obra	12,75	444	5.661,00
Total custo LED (II)			23.421,00
Diferença de custo LF/LED (I – II)			31.952,36

Fonte: Os autores (2017).

As informações para a realização dos cálculos foram fornecidas pela Divisão de Execução Física da Prefeitura Universitária da UFU.

O segundo cenário considerou para as lâmpadas fluorescentes as mesmas 720 horas e para as LEDs 13 anos, o que equivale a aproximadamente 40.000 horas de vida útil, informadas pelos fabricantes de lâmpadas (Tabela 17).

Tabela 17 – Quantidade de lâmpadas previstas para substituição - cenário 2

Tipo de lâmpada	Unidades	Tempo de vida/horas	Quantidade necessária para substituição
Lâmpada fluorescente	1.000	720	2.667
Reator	500	5.760	167
Lâmpada LED Tubular T8 19W + Reator	1.000	40.000	48

Fonte: Os autores (2017).

A análise do segundo cenário demonstra os valores gastos na compra das lâmpadas, dos reatores e da mão de obra para a retirada gradativa das lâmpadas fluorescentes ao longo de 13 anos. A manutenção e mão de obra permanecem as mesmas para as lâmpadas fluorescentes. Nesse período, não há gastos com a manutenção das lâmpadas LEDs, somente provisão orçamentária no valor de R\$ 2.532,00 incluindo mão de obra. Quando comparados esses valores, projeta-se uma economia de R\$ 52.841,36 no orçamento anual da Instituição (Tabela 18).

Tabela 18 – Gastos das lâmpadas fluorescentes (LF) e das LEDs em R\$ na UFU/MG - Cenário 2

Tipo de lâmpada	Unitário (R\$)	Gasto anual Quantidade	Valor total anual (R\$)
Lâmpada fluorescente 32W	4,93	2.667	13.148,31
Retirada de lâmpadas inteiras	2,12	2640	5.596,80
Retirada de lâmpadas quebradas	7,50	27	202,50
Reator	14,50	167	2.421,50
Mão de obra	12,75	2.667	34.004,25
Total custo LF			55.373,36
Lâmpada LED Tubular T8 19W + Reator	40,00	48	1.920,00
Mão de obra	12,75	48	612,00
Total custo LED			2.532,00
Diferença de custo LF/LED			52.841,36

Fonte: Os autores (2017).

O custo do kWh médio pago pela UFU à concessionária de energia elétrica de Minas Gerais, informado pela Diretoria de Sustentabilidade, é de R\$ 0,37. Obteve-se o valor da energia elétrica multiplicando-se $12 \text{ h.dia}^{-1} \times 5 \text{ dias.semana}^{-1} \times 4 \text{ semanas.mês}^{-1} \times 8 \text{ meses}$ pela potência em watts de 39.500 W [(1.000 lâmpadas fluorescentes x 32 W) + (500 reatores x 15 W)] para as lâmpadas fluorescentes e de 1.920 multiplicado por 19.000 W (1000 LED x 19 W) para as LEDs, dividido pela quantidade da amostra (1.000 lâmpadas fluorescentes), multiplicado pelo custo do kWh (R\$ 0,37). Assim, o custo anual gerado com lâmpadas fluorescentes é de R\$ 28.060,80, enquanto o custo das LEDs é de R\$ 13.497,60, proporcionando uma economia anual de R\$ 14.563,20 em ambos os cenários, haja vista que o tempo de duração das lâmpadas não influi no consumo (Tabela 19).

Tabela 19 – Comparativo de economia energética para a substituição de lâmpadas fluorescente por LEDs na UFU/MG – 2017 – Cenários I e 2

	Gasto anual (h)	Potência (W)	Preço médio (kWh)	Total (kWh)
Fluorescentes 32W + reator (I)	1.920	39.500	0,37	28.060,80
LED Tubular T8 19W + reator (II)	1.920	19.000	0,37	13.497,60
Economia (I – II)				14.563,20

Fonte: Os autores (2017).

O valor da tarifa considerada nos cálculos do kWh pago pela Universidade à empresa fornecedora de energia elétrica é a média entre o consumo do horário de ponta e o consumo fora deste. Horário de ponta é aquele em que há um consumo muito alto de energia no sistema de fornecimento e, conseqüentemente, o valor do kWh é mais caro, sendo o horário fora de ponta aquele em que o consumo de energia é menor e o preço também.

A Figura 17 representa os valores dos custos de energia elétrica para os dois cenários.

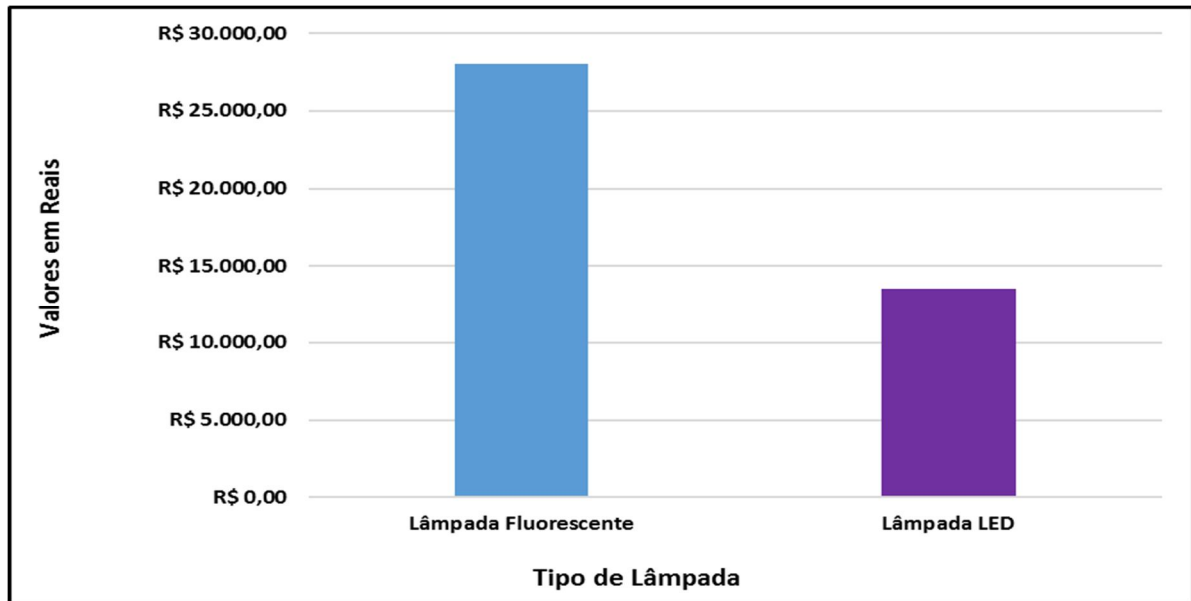


Figura 17 – Custos da energia elétrica das lâmpadas fluorescentes e LEDs - cenários 1 e 2.
Fonte: Os autores (2017).

A Tabela 20 demonstra a economia total anual com a compra de lâmpadas, com mão de obra especializada e energia elétrica. Considerando a estimativa de vida útil de 18 meses para as lâmpadas LEDs, o valor é de R\$ 46.515,56, e para 167 meses é de R\$ 67.404,56, ou seja, entre 55,7% a 80,8% no final de 13 anos.

Tabela 20 – Economia anual com a troca das lâmpadas fluorescentes pelas lâmpadas LEDs

Quantidade em meses	Diferença custo de lâmpadas (R\$)	Diferença mão de obra (R\$)	Diferença gasto de energia elétrica (R\$)	Economia total (custo/mão de obra/ energia elétrica) (R\$)
18	3.609,11	28.343,25	14.563,20	46.515,56
167	19.449,11	33.392,25	14.563,20	67.404,56

Fonte: Os autores (2017).

Tendo em vista que a amostra foi de 1.000 lâmpadas para apenas um bloco, é possível afirmar que, caso a substituição se estenda por todas as salas de aulas e demais dependências da UFU, a economia com a compra de lâmpadas, seu recolhimento, a mão de obra e o gasto com energia elétrica seria considerável, o que permitiria a realocação de recursos financeiros para atender a outras demandas da Instituição.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo sobre as lâmpadas na UFU possibilitou verificar que as lâmpadas fluorescentes têm um custo relevante para a Instituição por diversos fatores: primeiro, o ciclo de vida de cada lâmpada é bem menor que o ciclo de cada lâmpada LED; segundo, para que as fluorescentes sejam recolhidas, transportadas, recicladas e recebam a destinação final ambientalmente correta, é necessário que a UFU desembolse um valor significativo, enquanto as LEDs não carecem desses tratamentos.

Ficou comprovado pela literatura e pelos cálculos realizados para verificar a viabilidade da substituição de lâmpadas fluorescentes por LEDs que uma LED, funcionando 12 horas por dia, 20 dias por mês, durante um ano, gera uma economia significativa e imediata na conta de energia elétrica em relação à lâmpada fluorescente.

Com base nos resultados encontrados, os dois cenários analisados favoreceram a substituição das lâmpadas fluorescentes por LEDs. Entretanto, observou-se que o segundo cenário aponta para maior economia financeira e implica menor impacto ambiental e diminuição de danos à saúde do ser humano pelo desuso das lâmpadas fluorescentes que contêm mercúrio.

Sugestões para estudos futuros:

- 1º - Considerar, nos cálculos, a ociosidade de mão de obra do electricista e do ajudante, por exemplo o tempo de deslocamento entre um prédio e outro dentro do *campus*, ou seja, considerar quantas horas efetivamente esses profissionais trabalham e quantas lâmpadas efetivamente eles substituem.
- 2º - Determinar os custos das contas de energia elétrica considerando os horários de ponta e fora de ponta e avaliar as vantagens e possibilidades para a substituição total por lâmpadas LEDs.
- 3º - Quantificar a melhoria gerada na substituição das lâmpadas fluorescentes pelas LEDs analisando a alteração do fator de potência e a consequência na qualidade da energia e consumo energético.

CONCLUSÃO

As lâmpadas LEDs sobressaem nos aspectos de manutenibilidade, durabilidade, eficiência energética, econômico-financeira e menores impactos ambientais, podendo ser até duas vezes mais eficientes que as lâmpadas fluorescentes, além de não gerarem resíduos tóxicos.

Diante deste cenário, constatou-se a viabilidade econômico-financeira para a substituição das lâmpadas fluorescentes por LEDs na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), pois, em se considerando uma amostra de 1.000 lâmpadas fluorescentes, projeta-se uma economia entre 55,7% a 80,8% no final de 13 anos. Não obstante, o que mais se destaca nesta experiência é a importância da substituição do ponto de vista ambiental, por contemplar ações de sustentabilidade, principalmente, em uma instituição de ensino.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos – Classificação. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2004. 77 p.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014**. São Paulo: ABRELPE, 2014. 120 p.
- AGUILAR, R. C. S. **Destino de lâmpadas fluorescentes pós-consumo: estudo de caso em um estabelecimento de Governador Valadares – MG**. Governador Valadares: Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG), 2015. 16 p.
- AMERICANA (Cidade). **Lei n ° 3.578/01**, de 18 de setembro de 2001. Dispõe sobre a responsabilidade da destinação de pilhas, baterias e lâmpadas usadas e dá outras providências. Americana: Câmara Municipal, 2001. Disponível em: <<https://cm-americana.jusbrasil.com.br/legislacao/256786/lei-3578-01>>. Acesso em: 29 maio 2017.
- ARAUJO, S. M. V. G. **O desafio da aplicação da lei dos resíduos sólidos**. Brasília. DF: Câmara dos Deputados/Consultoria Legislativa, 2013. 32 p.
- ATLAS BRASIL. **Atlas do desenvolvimento humano no Brasil**. Minas Gerais, 2013. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_uf/minas-gerais>. Acesso em: 13 maio 2017.
- BACILA, D. M. **Uso da logística reversa para apoiar a reciclagem de lâmpadas fluorescentes usadas**: estudo comparativo entre Brasil e Alemanha. 2012. 152 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2012.
- BACILA, D. M.; FISCHER, K.; KOLICHESKI, M. B. Estudo sobre reciclagem de lâmpadas fluorescentes. **Eng. Sanit. Ambient.** [online], Rio de Janeiro, v. 19, n.spe, p. 21-30, 2014. ISSN 1413-4152. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522014000500021&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 13 abr. 2017
- BLEY, F. B. LEDs versus lâmpadas convencionais: viabilizando a troca. **Especialize** – Revista online. IPOG, maio 2012. Disponível em: <<file:///D:/User/Downloads/leds-versus-lampadas-convencionais-1443176.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2017.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. Norma Regulamentadora NR-15 –Atividades e operações insalubres. **Diário Oficial da União**, de 06 de julho de 1978. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1978.
- _____. Decreto n° 96.044, de 18 de maio de 1988. Aprova o regulamento para o transporte rodoviário de produtos perigosos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, de 19 5.1988. Brasília: Planalto, 1988a.
- _____. **Constituição da República Federativa do Brasil**, de 5 de outubro de 1988. Brasília: Planalto, 1988b.

_____. Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, de 22.6.1993, republicado em 6.7.1994 e retificado em 6.7.1994. Brasília: Planalto, 1993.

_____. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, de 28.4.1999. Brasília: Planalto, 1999.

_____. Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001. Lei de Eficiência Energética. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, de 18.10.2001. Brasília: Planalto, 2001.

_____. Lei nº 10.520, de 17 de julho de 2002. Institui, no âmbito da União, Estados, Distrito Federal e Municípios, nos termos do art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, modalidade de licitação denominada pregão, para aquisição de bens e serviços comuns, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, de 18.7.2002 e retificado em 30.7.2002. Brasília: Planalto, 2002.

_____. Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, de 7.4.2005. Brasília: Planalto, 2005.

_____. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, de 8.1.2007 e retificado em 11.1.2007. Brasília: Planalto, 2007.

_____. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, de 3.8.2010. Brasília: Planalto/MMA, 2010a.

_____. Decreto n. 7.404, de 23 de dezembro de 2010b. Regulamenta a Lei n. 12.305 de 2 de agosto de 2010, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, de 23.12.2010, com edição extra e retificado em 24.12.2010. Brasília: Planalto, 2010b.

_____. Portaria Ministério da Saúde nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Seção 1, p. 266, de 13/12/2011. Brasília: Ministério da Saúde, 2011.

CAMPINAS (Cidade). **Lei nº 11.294/02**, de 27 de junho de 2002. Dispõe sobre a destinação de lâmpadas fluorescentes no município de Campinas. Campinas: Câmara Municipal, 2002. Disponível em: <<https://cm-campinas.jusbrasil.com.br/legislacao/323470/lei-11294-02>>. Acesso em: 27 maio 2017.

CAVALLO, C. Lâmpadas fluorescentes: temperatura de cor e índice de reprodução de cores. **Revista LUME Arquitetura**, [S.l.], 2016. Disponível em: <http://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed01/ed_01_Aula.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2017.

CESTARI, W.; MARTINS, C. H. 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, p. 124-135, set./dez. 2015.

_____. Política nacional de resíduos sólidos e logística reversa de lâmpadas fluorescentes pós-consumo: estudo de caso. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, v. 11, n. 1, p. 29-44, jan./mar. 2016.

CIDADES em foto. Disponível em: <<https://cidadesemfotos.blogspot.com.br/2014/09/fotos-de-uberlandia.html>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

COMINI, U. B.; AZEVEDO, M. A.; MOSTARO, G. V. et al. **Propostas para melhoria do sistema de gerenciamento de lâmpadas de descarga pós-consumo em instituição de ensino superior**. Universidade Federal de Viçosa, MG, 2016. 9 p.

COMPRASNET. Portal de compras do governo federal. Disponível em: <<http://comprasnet.gov.br/aceso.asp?url=/livre/Resultado/conrelit00.asp>>. Acesso em: 20 fev. 2016.

CREPALDI, J. A.; FRIGATTI, M. F.; LUCKOW, R. **Análise da vida útil de lâmpadas fluorescentes utilizando diferentes tipos de circuitos de pré-aquecimento**. 2012. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2012.

DURÃO JÚNIOR, W. A.; WINDMÖLLER, C. C. A questão do mercúrio em lâmpadas fluorescentes. **Química nova na escola**, [S.l.], n. 28, p. 15-19, maio 2008.

ELETRÔNICA LED. **Led, diodo emissor de luz** [online]. Disponível em: <<https://www.electronica-pt.com/led>>. Acesso em: 30 set. 2017.

ESTRELA, M. A. A.; ROHLFS, D. B. **Mercúrio: implicações para saúde e meio ambiente**. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, GO, 2014. 18 p.

FERREIRA, J. Z. **Estudo comparativo entre lâmpadas fluorescentes tubulares T8 e tubulares LED**. 2014. 59 f. Monografia (Pós-Graduação em Construções Sustentáveis) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2014.

FRANCESCHI, F. R. A.; SANTIAGO, C. D.; LIMA, T. Q. et al. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil: uma discussão sobre a evolução dos dados no período de 2003-2014. **Revista DAE**, [S.l.], p. 62-68, maio 2017. DOI: 10.4322/dae.2016.028.

GIL, A. C. **Como elaborar projeto de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176 p.

GUSMÃO, S. **Brasil inicia processo para instalação da logística reversa** [online]. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2017. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/7015-brasil-inicia-processo-para-instalacao-da-logistica-reversa>>. Acesso em: 27 jul. 2017.

HOMRICH, B. S.; FERNANDES, C. R. P.; VIERA, J. R. O. Potencial tóxico do mercúrio e os impactos da gestão inadequada de seus resíduos ao meio ambiente e à saúde. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, de 24 a 27 de novembro de 2014. **Anais...** Belo Horizonte, Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais (IBEAS), 2014. 7 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. Uberlândia. IBGE, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=317020>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

_____. **Censo Demográfico 2010**: sinopse do censo e resultados preliminares do universo. Rio de Janeiro, 2011. 36 p. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000402.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2016.

_____. Estimativas da população dos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2014. **Nota técnica**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. 18 p. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/pdf/analise_estimativas_2014.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2017.

_____. **Brasil em síntese**. Minas Gerais. Uberlândia. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/uberlandia/panorama>>. Acesso em: 12 abr. 2017a.

_____. Uberlândia: Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) municipal. **Cidades@**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?codmun=317020&idtema=118>>. Acesso em: 20 abr. 2017b.

IEE – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://200.144.182.130/iee/?q=pt-br/museu-virtual/perguntas-e-respostas>>. Acesso em: 23 nov. 2017.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Seis coisas sobre a norma do INMETRO para lâmpadas LED que você deve saber. **Portal do LED**, 2017. Disponível em: <<http://www.portaldoled.com.br/6-coisas-sobre-a-norma-do-inmetro-para-lampadas-led-que-voce-deve-saber>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico**. 6. ed. São Paulo: Ática, 2015.

LIMA, V. A. A. **Estudo comparativo entre lâmpadas com LED de alta potência e lâmpadas comuns considerando a viabilidade econômica**. 2013. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Eletrotécnica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, PR, 2013.

LOPES, L. B. **Uma avaliação da tecnologia LED na iluminação pública**. 2014. 70 f. Projeto (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

MAIA, H. J. L.; ALENCAR, L. D.; BARBOSA, E. M. et al. Política nacional de resíduos sólidos: um marco na legislação ambiental brasileira. **Revista Polêmica**, [S.l.], v. 13, n. 1, 2014. 5 p.

MARIANO, A. B.; BRESCIAN, A. E.; ALMEIDA, C. R. et al. Conselho Regional de Química – IV Região. Comissão de Meio Ambiente. **Aspectos jurídicos e tecnológicos da política de resíduos sólidos**. São Paulo: CRQ IV, 2015. 51 p.

MARTELETO, D. C. **Avaliação do diodo emissor de luz (LED) para iluminação de interiores**. 2011. 96 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

MINAS GERAIS (Estado). Lei 12040, de 28 de dezembro de 1995 (texto atualizado). Dispõe sobre a distribuição da parcela de receita do produto da arrecadação do ICMS pertencente aos Municípios, de que trata o inciso II do parágrafo único do artigo 158 da Constituição Federal, e dá outras providências. **Diário do Executivo - "Minas Gerais"**, de 29/12/1995. Belo Horizonte, MG: Palácio da Liberdade, 1995.

_____. Lei nº 13.766, de 30 de novembro de 2000. Dispõe sobre a política estadual de apoio e incentivo à coleta seletiva de lixo e altera dispositivo da Lei nº 12.040, de 28 de dezembro de 1995, que dispõe sobre a distribuição da parcela de receita do produto da arrecadação do ICMS pertencente aos municípios, de que trata o inciso II do parágrafo único do art. 158 da Constituição Federal. **Diário do Executivo - "Minas Gerais"**, de 01/12/2000. Belo Horizonte, MG: Palácio da Liberdade, 2000a.

_____. Lei nº 13.796, de 20 de dezembro de 2000. Dispõe sobre o controle e o licenciamento dos empreendimentos e das atividades geradoras de resíduos perigosos no Estado. **Diário do Executivo - "Minas Gerais"**, de 21/12/2000. Belo Horizonte, MG: Palácio da Liberdade, 2000b.

_____. Lei nº 14.128, de 19 de dezembro de 2001. Dispõe sobre a Política Estadual de Reciclagem de Materiais e sobre os instrumentos econômicos e financeiros aplicáveis à Gestão de Resíduos Sólidos. **Diário do Executivo - "Minas Gerais"**, de 20/12/2001. Belo Horizonte, MG: Palácio da Liberdade, 2001a.

_____. Lei nº 14.129, de 19 de dezembro de 2001. Estabelece condição para a implantação de unidades de disposição final e de tratamento de resíduos sólidos urbanos. **Diário do Executivo - "Minas Gerais"**, de 20/12/2001. Belo Horizonte, MG: Palácio da Liberdade, 2001b.

_____. Lei nº 14.577, de 15 de janeiro de 2003. Altera a Lei nº 13.766, de 30 de novembro de 2000, que dispõe sobre a política estadual de apoio e incentivo à coleta seletiva de lixo, e dá outras providências. **Diário do Executivo - "Minas Gerais"**, de 16/01/2003. Belo Horizonte, MG: Palácio da Liberdade, 2003.

_____. Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos. **Diário do Executivo - "Minas Gerais"**, de 13/01/2009. Belo Horizonte, MG: Palácio da Liberdade, 2009.

_____. Lei nº 21.421, de 16 de julho de 2014. Altera a Lei nº 13.766, de 30 de novembro de 2000, que dispõe sobre a política estadual de apoio e incentivo à coleta seletiva de resíduos sólidos e dá outras providências. **Diário do Executivo - "Minas Gerais"**, de 17/07/2014. Belo Horizonte, MG: Palácio da Liberdade, 2014a. p. 1, col. 1.

_____. Lei 21.557, de 22 de dezembro de 2014. Acrescenta dispositivos à Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009 – que dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos –, com o objetivo de proibir a utilização da tecnologia de incineração nos casos que especifica. **Diário do Legislativo - "Minas Gerais"**, de 23/12/2014, p. 6, col.1. Belo Horizonte, MG: Palácio da Liberdade, 2014b.

MIQUILUCHI, L. GONÇALVES, N. G. C. Logística reversa de pós-consumo no setor de lâmpadas fluorescentes nas cidades do interior de São Paulo pertencentes à CONSAB (Consórcio Intermunicipal de Saneamento Básico). **Revista Universitas**, [S.l.], v. 5, n. 8, p. 73-98, jan./jun. 2012.

MONTEIRO, R. V. A. **Lâmpadas tubulares LED x Lâmpadas fluorescentes: estudos de viabilidade na perspectiva da qualidade da energia e eficiência elétrica**. 2015. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2015.

MORAIS, A. S. **Novas topologias, análises, projeto e experimentação de fontes de alta frequência para lâmpadas fluorescentes tubulares**. 2004. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Uberlândia, Uberlândia, 2004.

NASCIMENTO, V. F.; SOBRAL, A. C.; ANDRADE, P. R. et al. Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Revista Ambiente e Água**, [S.l.], v. 10, n. 4, 2015.

PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO NO BRASIL. **Ranking IDHM Municípios 2010**. Disponível em: <http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/rankings/idhm-municipios-2010.html>. Acesso em 13 jun. 2017.

QIAN, J.; LEE, F. C. Charge pump power-factor-correction dimming electronic ballast. **IEEE Transactions on Power Electronics**, [S.l.], v. 14, n. 3, p. 461-468, 1999.

RAMOS, P. L. F.; FRAGA, J. L. L.; MORAIS, A. S. et al. Impacto ambiental do mercúrio em lâmpadas fluorescentes descartadas no Instituto Federal de Sergipe. **Rev. Bras. Gest. Amb. Sustent.** João Pessoa-PB, v. 3, n. 4, p. 61-68, mar. 2016.

RECICLUS, **Programa**. Reciclus, 2017a. Disponível em: <http://www.reciclus.org.br/index.php?content=8>>. Acesso em: 10 maio 2017.

_____. **Boletim Reciclus**. n. 4, set. 2017b. Disponível em: <file:///D:/User/Downloads/RECICLUS%20SETEMBRO.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2017.

REMPE, E. F.; AMORIM, L. A.; VASCONCELOS NETO, R. **Coletânea de informações sobre o mercúrio incluindo padrões ambientais no Brasil**. In: 4º GT de Lâmpadas Mercuriais da CSSAGR do CONAMA, 27 de janeiro de 2010. Brasília: Ministério da Saúde, 2010. 13 p.

RIBEIRO, M. R. **Análise do ciclo de vida: lâmpada fluorescente compacta versus lâmpada incandescente, cenário atual e estudo de caso na Universidade de São Paulo**. 2010. 80 f. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental e Negócios do Setor Energético) – Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Lei nº 11.187, de 07 de julho de 1998. Altera a Lei nº 11.019, de 23 de setembro de 1997, acrescentando normas sobre o descarte e destinação final de lâmpadas fluorescentes, baterias de telefone celular e demais artefatos que contenham metais pesados. **Diário Oficial do Estado**, nº 127, de 08 de julho de 1998. Porto Alegre: Palácio Piratini, 1998. Disponível em: <<http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/11.187.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2017.

SANTOS, D. F.; MARINHO, G. A.; SANTOS, A. F. et al. A logística reversa como estratégia de sustentabilidade e redução de custos. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, [S.l.], v. 3, n. 2, p. 227-242, jun./dez. 2013.

SANTOS, D. G.; SILVA, T. M. Proposta de criação de um jardim botânico dedicado ao bioma cerrado em Uberlândia-MG In: X ENCONTRO NACIONAL DOS GEÓGRAFOS, de 25 a 31 de julho de 2010. **Anais...** Porto Alegre: Associação dos Geógrafos Brasileiro (AGB), 2010. 11 p.

SANTOS, S. T. **A logística reversa das lâmpadas pós-consumo do sistema de iluminação viário da Cidade Universitária Prof. José da Silveira Netto - Universidade Federal do Pará- UFPA**. 2015. 19 f. Relatório técnico-científico (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental (FAESA), Universidade Federal do Pará (UFPA), Pará, 2015.

SANTOS, T. S.; BATISTA, M. C.; POZZA, S. A et al. Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. **Eng Sanit Ambient.**, v. 20, n. 4, p. 595-602, out./dez. 2015.

SÃO PAULO (Estado). **Lei n. 10.888**, de 20 de setembro de 2001. Dispõe sobre o descarte final de produtos potencialmente perigosos do resíduo urbano que contenham metais pesados e dá outras providências. São Paulo: Assembleia Legislativa, 2001.

SHIBAO, F. Y.; MOORI, R. G.; SANTOS, M. R. **A logística reversa e a sustentabilidade empresarial**. In: XIII SemeAd – SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO, set. 2010. 17 p.

UBERLÂNDIA (Cidade). **Decreto nº 7.401**, de 26 de setembro de 1997. Regulamenta a responsabilidade de coleta, transporte, tratamento e destinação final de resíduos sólidos que menciona e dá outras providências. Uberlândia: Prefeitura Municipal/Paço Municipal, 1997. 6 p.

_____. **Decreto nº 9.152**, de 29 de abril de 2003. Estabelece forma de repasse dos custos operacionais para destinação final de resíduos sólidos e especiais e dá outras providências. Uberlândia: Prefeitura Municipal/Paço Municipal, 2003a.

_____. **Decreto nº 9.323**, de 07 de novembro de 2003. Altera o decreto nº 9.152, de 29 de abril de 2003, que "estabelece forma de repasse dos custos operacionais para destinação final de resíduos sólidos e especiais" e dá outras providências. Uberlândia: Câmara Municipal de Uberlândia, 2003b. 3 p.

_____. **Uberlândia, Minas Gerais – MG, coordenadas geográficas** [online]. Disponível em: <<http://www.geografos.com.br/cidades-minas-gerais/uberlandia.php>>. Acesso em: 02 mar. 2016.

_____. **Localização de Uberlândia em Minas Gerais** [online], 2017a. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Uberl%C3%A2ndia>>. Acesso em: 13 jul. 2017.

_____. Prefeitura Municipal de Uberlândia. Secretaria Municipal da Saúde. Disponível em: <<http://www.uberlandia.mg.gov.br/2014/secretaria/65/secretaria.html>>. Acesso em: 15 jul. 2017b.

UFU CAMPI. Disponível em: <<http://www.ufu.br/campi>>. Acesso em: 23 set. 2017.

UFU HOSPITAL de Clínicas. Disponível em: <<https://www.google.com.br/search?q=Hospital+das+Clínicas+da+Universidade+Federal+de+Uberlândia>>. Acesso em: 29 nov. 2016.

UFU – UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA. **Projeto básico**. Projeto referente à contratação de serviços de coleta de lâmpada. Uberlândia: UFU/Prefeitura Universitária/ Diretoria de Sustentabilidade, 2014a.

_____. **Edital de Licitação** – Concorrência Pública nº 006/2014 – Processo nº 23117.005779/2014-51 – Regime de execução: empreitada por preço global, de 06/10/2014. Uberlândia: UFU/Prefeitura Universitária/Diretoria de Compras e Licitações, 2014b. Disponível em: <http://www.sinduscontap.com.br/arquivos/Licitacoes/EditalLicita309-00614%20_1_.pdf>. Acesso em: 13 maio 2017.

_____. **Projeto básico**. Projeto referente à contratação de serviços de coleta de lâmpada. Uberlândia: UFU/Prefeitura Universitária/ Diretoria de Sustentabilidade, 2015a.

_____. **Edital de Licitação nº 076/2015**. Processo: 23117.005451/2015-16. Pregão eletrônico (ativo). Uberlândia: UFU/Prefeitura Universitária/Diretoria de Compras e Licitações, 2015b. Disponível em: <<http://www.licitacoes.ufu.br/node/749>>. Acesso em: 16 maio 2017.

_____. **A universidade**. Uberlândia, 2017a. Disponível em: <www.ufu.br>. Acesso em: 20 set. 2017.

_____. **Universidade Federal de Uberlândia**: conheça a UFU. Uberlândia, MG: UFU, 2017b. Disponível em: <<http://www.ufu.br/institucional>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

_____. **Graduação.** Disponível em: <<http://www.ufu.br/graduacao>>. Acesso em: 20 jun. 2017c.

_____. **Pós-graduação.** Disponível em: <<http://www.ufu.br/pos-graduacao>>. Acesso em: 20 jun. 2017d.

_____. **Educação profissional.** Disponível em: <<http://www.ufu.br/educacao-profissional>>. Acesso em: 20 jun. 2017e.

_____. **Educação a distância.** Disponível em: <<http://www.ufu.br/pos-graduacao>>. Acesso em: 20 jun. 2017f.

_____. **Hospitais.** Disponível em: <<http://www.ufu.br/hospitais>>. Acesso em: 20 jun. 2017g.

_____. **Educação básica.** Disponível em: <<http://www.ufu.br/educacao-basica>>. Acesso em: 20 jun. 2017h.

ULTRALED. **Comunicado importante:** Lei PNRS de logística reversa e suas aplicações. Disponível em: <<http://www.ultraluz.com.br/ultra-led/10-gantry/155-comunicado-importante-lei-pnrs-de-logi-stica-reversa-e-suas-aplicac-o-es>>. Acesso em: 20 set. 2017.

USP – Universidade de São Paulo. *Campus da Capital. Meta de sustentabilidade* – lâmpadas fluorescentes [online]. São Paulo: USP Prefeitura, 2017. Disponível em: <<http://www.puspc.usp.br/extrato-de-sustentabilidade-lampadas>>. Acesso em: 15 set 2017.

VIEIRA, L. A. C.; SILVA, S. F. P. Diagnóstico energético dos sistemas de iluminação tubulares fluorescentes e a Led. In: XIII CEEL – CONFERÊNCIA DE ESTUDOS EM ENGENHARIA ELÉTRICA. **Anais...** Universidade Federal de Uberlândia, UFU, 2015. 6 p.

WILLE, M. M.; BORN, J. C. **Logística reversa:** conceitos, legislação e sistema de custeio aplicável. Curitiba, PR: Escola Superior de Gestão Comercial e Marketing, 2016. 14 p.

ZANICHEL, C.; PERUCHI, I. B.; MONTEIRO, L. A. et al. **Reciclagem de lâmpadas:** aspectos ambientais e tecnológicos. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, SP, nov. 2004.