

**5º WORKSHOP DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO  
CENTRO PAULA SOUZA – 2010**

**20 e 21 de Outubro de 2010 – São Paulo - Brasil**

# Gestão de Resíduos: Lâmpada Elétrica a Descarga

ELVO CALIXTO BURINI JUNIOR  
ADNEI MELGES DE ANDRADE

Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo - IEE/USP –  
Estado de São Paulo – ESP – Brasil - elvo@iee.usp.br, adnei@usp.br

EMERSON ROBERTO SANTOS  
WANG SHU HUI

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP, Departamento de Engenharia  
Metalúrgica e Materiais - ESP – Brasil - emerson@lme.usp.br, wangshui@usp.br

FERNANDO JOSEPETTI FONSECA

EPUSP, Engenharia Elétrica, Departamento de Sistemas Eletrônicos, Grupo de Eletrônica  
Molecular - ESP – Brasil - fernando.fonseca@lme.usp.br

## Resumo

A utilização de lâmpadas a descarga em gases é um instrumento importante para reduzir demanda de energia e aumentar a eficiência em uso final. Ela tem sido considerada sob o prisma energético. Neste trabalho a base ambiental foi agregada. Terminada a vida útil da lâmpada, o destino final deve ser tratado com foco em gestão de resíduos perigosos. Foi verificada variabilidade elevada dos dados declarados sobre a quantidade de Mercúrio (Hg) em lâmpada a descarga, particularmente do tipo fluorescente tubular. Na situação brasileira atual, cuja geração de eletricidade não tem base na queima de carvão, a maior difusão no mercado de fonte de luz com base no Hg pode induzir uma elevação na emissão desse elemento durante o ciclo de vida da lâmpada, diferentemente dos EUA e outros países. O controle de Hg e a valorização dos resíduos deverão ser desenvolvidos.

## Abstract

The use of gas discharge lamps is an important instrument to reduce energy demand and at the end use of energy to increase efficiency. It has been considered under electrical energy reduction purposes. In this work the environment point of view was aggregated. After the bulb life time end the final destination of the harmful elements contained in it must be treated with focus on management of hazardous waste. Large data variability on the amount of Mercury (Hg) inside the discharge lamps was observed, particularly at fluorescent bulbs. The current situation in Brazil, where electricity generation is not based on burning coal, a greater market diffusion of bulbs based on Hg technology can induce increase in the emission of Hg during the bulb life cycle, unlike at the U.S. and other countries. The control of Hg emission and the recovery of wastes should be developed.

Palavras-chave: Gestão Ambiental. Lâmpada elétrica a descarga. Gestão de resíduo perigo classe I. Fluorescência, *OLEDs*.

## Introdução

O consumo de água contendo Arsênio é um problema de contaminação à população, em Bangladesh, sem outra opção. Tornou-se histórico o evento de contaminação por Mercúrio (Hg), despejado acidentalmente, que perdurou na população japonesa, por gerações, na Baía de Minamata. Pilhas e baterias estão citadas como os principais resíduos sólidos em lista dos produtos que contém Mercúrio (72 %), equipamentos elétricos, incluindo lâmpadas, estão citados em segundo lugar (14 %) e termômetros (7 %) estão colocados em terceiro [1]. As lâmpadas fluorescentes e HID (do inglês: *High Intensity Discharge*; outros exemplares que contém Hg) têm sido incluídas na lista de resíduos sólidos que são nocivos, porque contêm, principalmente, o Hg. Esse elemento químico pode entrar na cadeia alimentar e provocar efeito danoso ao sistema nervoso humano.

Ao longo do ciclo de vida de um tipo particular de fonte para luz elétrica, como da lâmpada incandescente, o Mercúrio poderá estar presente apenas quando a energia elétrica utilizada é produzida a partir da queima de combustíveis como óleos e particularmente o carvão. Na análise do ciclo de vida da lâmpada fluorescente, quando são considerados os processos de queima de combustível, a emissão de CO<sub>2</sub> relativa à fração da energia utilizada será a parcela mais elevada (67 %), se comparada com a emissão oriunda da queima da própria lâmpada (27 %), ao final da vida útil, sendo a fração restante (cerca de 6 %) atribuída à produção de combustível [2].

Esforços estão sendo conduzidos por vários agentes da sociedade, particularmente no lado da demanda, tanto sobre a questão energética quanto para reduzir emissões de carbono e demais poluentes. As lâmpadas incandescentes convencionais que atualmente são utilizadas para a iluminação geral, já tiveram a produção interrompida, apenas um fabricante (Osram) está produzindo atualmente esse tipo de lâmpada convencional de uso geral no país. Na falta da incandescente, provavelmente, a lâmpada fluorescente de base única - LFBU (compacta) deverá substituí-la num primeiro momento. Após terminada a vida útil de uma LFBU, em relação ao seu destino final, questiona-se, qual a melhor conduta deverá ter o usuário final (consumidor). Por exemplo, na cidade de São Paulo, a legislação vigente coíbe a colocação da lâmpada fluorescente no lixo doméstico urbano. A lâmpada fluorescente tubular convencional é utilizada, em grande, principalmente pelo setor de comércio e serviços, pode ser desmontada e seus materiais constituintes submetidos a processos de separação e reciclagem. Informações disponíveis sinalizam que atualmente uma fração bastante reduzida das fontes fluorescentes tubulares é recuperada e/ou reciclada no Brasil [3]. Para o Estado da Carolina do Norte, nos EUA, existe um registro que indica aplicação do processo de reciclagem a cerca de 2 % das lâmpadas fluorescentes do setor residencial e de 29 % para o setor de comércio [4]. Considerando o cenário brasileiro, no qual não haverá mais lâmpada incandescente convencional para iluminação geral, disponível no mercado local, deveremos ter milhões de LFBU cujo descarte não poderá ser feito como da incandescente convencional. Atualmente, segundo pesquisa junto a consumidores, apenas 13 % da amostra consultada declarou armazenar as LFBU depois de utilizadas, e mais de 86 % responderam que as descartam em lixo comum [5]. O presente trabalho busca considerar a substituição de tecnologia no setor de iluminação de maneira integrada ao meio ambiente, avançando além da redução na potência da lâmpada. Alguns dos resultados apresentados têm lastro na literatura norte-americana.

Segundo relato de ATIYEL [6], no final do ano 2001 existia em nosso país três empresas recicladoras, no Estado de São Paulo, Paraná e Santa Catarina [6]. Atualmente é possível verificar onze endereços de recicladoras, sendo quatro em São Paulo, duas em Minas Gerais e Paraná; uma em Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro. ATIYEL [6] apresentou outras referências que são relevantes: “Dados da Abilux” para o ano de 2000, informando que o setor de equipamentos elétricos produziu 40 milhões de lâmpadas fluorescentes tubulares e importou 6 milhões de lâmpadas fluorescentes compactas eletrônicas para uso doméstico”; estimativa que, no ano de 2001, “pressionado pelo racionamento de energia, o mercado consumirá 70 milhões de lâmpadas tubulares e entre 16 e 20 milhões de lâmpadas compactas”; dados e preços, então, praticados pelas três recicladoras existentes, que a empresa paulista Apliquim possuía capacidade de descontaminar 400.000 lâmpadas/mês, sendo que a reciclagem das lâmpadas era paga pelos usuários, à razão de R\$ 0,70, com taxa decrescente conforme a quantidade de lâmpadas, sendo que para lotes acima de 15.000 lâmpadas o preço era de R\$ 0,50; a empresa Mega Reciclagem, localizada em Curitiba (PR), reciclava cerca de 120 mil lâmpadas fluorescentes/mês pelo preço de R\$ 0,60; a empresa Brasil Recycle, localizada em Itajaí (SC), possuía preço para descontaminação, por lâmpada, de R\$ 0,80, com redução decrescente para lotes maiores, sendo que para lotes acima de 5.000 lâmpadas o preço ficava reduzido para R\$ 0,65. Ainda entre as conclusões aquele autor [6] declarou: “... percebe-se que a reciclagem é entendida como a melhor estratégia a ser adotada, do ponto de vista ambiental. Do ponto de vista econômico, isto representa despesa, pois a empresa paga pelo transporte, e para reciclar as lâmpadas. A reciclagem de lâmpadas fluorescentes diferencia-se da reciclagem de papel, plástico, metais etc., onde a empresa obtém receita na comercialização deste material para a reciclagem. O ganho para a empresa ocorre de maneira indireta como na promoção de marketing verde e na adequação às normas de qualidade e ISO 14001. Atualmente, a faixa de preço para a descontaminação de lâmpada fluorescente tubular, declarado por uma empresa, situa-se entre R\$ (0,50 a 1,50), sem levar em consideração o custo do transporte. A mesma empresa declarou ter fornecido a terceiros, por doação, o material “descontaminado” das lâmpadas.

Sanches, E. S. S., 2008 considerou o tema denominando-o de “logística reversa”, ou seja, a transformação da lâmpada fluorescente tubular (convencional), após utilizada em novos produtos, ele cita: “As empresas que reciclam lâmpadas fluorescentes de pós-consumo cobram por este serviço uma média de R\$ 0,50 por lâmpada, obtendo um lucro já no processo de reciclagem. Além disso, estas indústrias lucram com a venda de materiais reciclados para empresas de variados segmentos...”. A cada 1.000 lâmpadas fluorescentes tubulares pode ser obtido, aproximadamente, 6 kg de pó de fósforo, 18 kg de terminais de alumínio, pinos de cobre, eletrodos etc., 8 g de Mercúrio e 260 kg de vidro. Esses produtos são comercializados no mercado a R\$ 0,20/kg de vidro, R\$ 0,90/kg de metais, e R\$ 1000,00/kg de Hg” [7]. Segundo Zanicheli, C. et al, 2004, o Brasil utiliza Mercúrio metálico para a fabricação de lâmpadas, cerca de 1,1 toneladas, que representa menos de 4 % do total da importação anual [8].

## **Metodologia**

Uma parte dessa seção é dedicada a ampliar nosso conhecimento sobre os

materiais, e quantidades componentes das lâmpadas a descarga, conforme o tipo de lâmpada e além do Hg, quais outros elementos poderão representar risco ao ser humano e ao meio ambiente.

Ao realizar inspeção visual em lâmpada (fluorescente e HID) que é considerada resíduo perigo classe I [9], normalmente é verificado: vidro (bulbo), metais (Alumínio, latão, Chumbo, Estanho, Mercúrio), a “poeira de fósforo”, cimentos e elementos com função de fixação e isolamento elétrica. Nas LFBU ou compactas adicionalmente existe uma placa com circuito eletrônico montada no interior de invólucro em material polimérico. O material plástico pode ter sua estrutura mecânica degradada após receber radiação ultravioleta – UV, e isso poderá provocar a ruptura do tubo de arco durante a retirada da lâmpada de serviço. Nessa situação o usuário ficará exposto, diretamente ao contato com os elementos químicos provenientes do interior da LFBU. A quantidade de Hg declarada e prescrita em norma técnica para este tipo de lâmpada é reduzida, e da ordem de 25 % do valor médio, que é da ordem de 23 mg, declarado para as lâmpadas fluorescentes tubulares convencionais 40 W (T12, ver Tab. 1, Anexo I).

Os resíduos das lâmpadas têm sido encaminhados a aterros geralmente controlados ou administrados pelo Serviço de Saneamento Municipal. Assim, para abordar o problema da destinação final das lâmpadas a descarga, um levantamento junto aos órgãos municipais deve ser realizado, além desses, os estabelecimentos comerciais, as cooperativas de reciclagem e aos usuários dos municípios que também deverão ser consultados. Neste sentido, uma proposta para o gerenciamento de resíduos de lâmpadas foi identificada na literatura [10], ela propõe que uma associação de fabricantes, a Abilux, seja a operadora, porém as LFBU nunca foram fabricadas no país, e as fábricas de lâmpadas fluorescentes tubulares estão sendo fechadas. A Sylvania já interrompeu a produção e a Philips tem previsão para interromper atividades ainda em 2010. Isto pode representar o fechamento de 12.000 postos de trabalho por empresa. Portanto, a questão é abrangente, complexa e envolve outros setores, além dos consumidores, não consiste exclusivamente em redução de consumo de energia elétrica, nem da elevação da eficiência no uso final de energia, possui outros desdobramentos e peculiaridades que devem ser considerados. A figura 1 apresenta situação de lâmpadas após vida útil, que foi registrada no IEE/USP e necessita de ação corretiva.



**Figura 1** – Registro de situação presente no IEE/USP. Fonte: foto do autor.

Os funcionários da instituição responsáveis pela manutenção da iluminação artificial e o pessoal terceirizado, que realiza atividades de limpeza predial, deverão receber treinamento especial. Como o exemplo tomado no IEE/USP, as lâmpadas fluorescentes utilizadas ou inutilizadas jamais devem ficar simplesmente apoiadas em uma parede e no relento, conforme registrado (figura 1). Um esforço mecânico mínimo lateral poderá provocar a queda e quebra da lâmpada e isso ocorrendo haverá início da liberação do Hg para o meio externo. No caso ilustrado, como as lâmpadas estão em ambiente aberto, fica minimizada a probabilidade de contaminação humana via pulmões, restando os fragmentos de vidro e caso este apresente contaminação por Hg não superior a 1,3 mg/kg e os metais cujo nível de Hg não superior a 20 mg/kg, eles serão considerados descontaminados e poderão ingressar em determinados processos de reciclagem [8].

Atualmente não existe disponibilidade local de uma metodologia (prática e rápida) capaz de permitir a quantificação da concentração de Hg nos componentes das lâmpadas fluorescentes no final da sua vida útil, o que existe é apenas uma minuta de metodologia internacional (IEC TC 111) para a determinação de substâncias químicas em produtos elétricos e luminotécnicos [11]. A metodologia de amostragem para quantificar Hg em lâmpada fluorescente tubular nova encontra-se definida no documento IEC 62554 [12]. Um procedimento destinado a lâmpadas ao final da vida útil é importante, particularmente, devido à possibilidade do Hg poder difundir durante o período de utilização da lâmpada ficando ancorado no interior dos outros materiais. No caso dessa barreira ser superada, isto possibilitará avanços tecnológicos, como exemplo em relação a utilização da “poeira fosforosa” (pó) de lâmpadas fluorescentes. As investigações são conduzidas neste trabalho, particularmente, em relação a uma possível aplicação da “poeira fosforosa” na fabricação de *OLEDs* (*Organic Light Emitting Diodes*) para emissão de luz branca. Tendo sido considerado o material do revestimento interno de duas amostras de lâmpadas HID, pelo motivo de que neste tipo de lâmpada a câmara ou tubo que contém o Hg fica isolado. Após separação cuidadosa do bulbo externo e a base (removida acoplada do tubo de descarga), o material com propriedade fluorescente foi removido mecanicamente, tendo sido o mesmo acondicionado em frasco plástico opaco numerado: n<sup>o</sup> 1 (lâmpada marca GE) e n<sup>o</sup> 2 (lâmpada marca Osram). A solubilidade desse pó branco das duas lâmpadas HID foi testada, visualmente, pela mistura em água e álcool, tendo sido buscada a formação de um filme sobre lâmina de vidro para utilização posterior. Após ter ocorrido a evaporação de cada solvente utilizado, tanto as laminas quanto o pó branco no interior do frasco foram irradiados com duas fontes de UV (germicida e luz negra). Tendo sido observado e registrado o tipo de fluorescência resultante.

## **Resultados e Discussão**

No Brasil, existe relato que indica uma fração não superior a 7 % das lâmpadas fluorescentes tubulares convencionais que passam por algum tipo de reciclagem, tendo essa atividade maior concentração no setor de comércio e serviços do Estado de São Paulo. Por exemplo, no âmbito da USP, foi identificado um programa de gestão de lâmpadas fluorescentes tubulares em funcionamento na EPUSP [13]. Para a cidade de Pelotas (RS), existe a constatação de não haver destino adequado às lâmpadas fluorescentes pós-consumo, existe a falta de aplicação da legislação Estadual e fiscalização dos diversos setores, tanto público

quanto privado. Tendo sido sugerido ao município uma cadeia de distribuição reversa adequada e organizada visando à reciclagem de lâmpadas fluorescentes, especialmente aquelas de uso doméstico, que em sua maioria são descartadas de forma inadequada em lixões causando danos a saúde e contaminação do meio ambiente [14]. Esse não é um caso isolado, aparentemente trata-se de situação geral e típica em muitos municípios pelo Brasil.

A determinação de Hg em materiais elétricos, em especial nos produtos como lâmpadas, em 2005, ainda estava em discussão no meio técnico internacional. A minuta de norma internacional IEC 62321 [11] possui estabelecido os métodos de ensaio para a determinação de níveis dos elementos Pb, Hg, Cd, Cr (VI). O projeto de norma internacional IEC 62554 [12] orienta a preparação de amostras destinadas a medição do nível de Mercúrio nas lâmpadas fluorescentes tubulares novas (inclui vários tipos) contendo pelo menos 0,1 mg de Hg. Nesse mesmo documento não está considerado o procedimento para a medição de Hg em lâmpada após o final da vida devido à difusão desse elemento na parede vítrea da lâmpada e a reação com o material do vidro referido. Uma técnica que está citada para a avaliação referida é a fluorescência por Raio X [11].

Existe certa variabilidade nos dados que foram acessados sobre a quantidade de Hg por tubo, no caso da lâmpada fluorescente convencional, T12, o valor de aproximadamente 20 mg tem frequência elevada [6] e para as LFBU o limite máximo prescrito, nos EUA, tem o valor de 5 mg [15]. Um método para determinação de Hg emitido por lâmpada quebrada estabelece que entre 17 % e 40 % do Hg é liberado durante duas semanas, sendo 33 % liberado nas primeiras 8 horas [16], este mesmo autor apresenta estimativas para emissão e limite ocupacional de Hg nos EUA<sup>1</sup>. Demais resultados coligidos da literatura estão apresentados nas tabelas 1 a 4, do Anexo I.

A combustão de carvão que é utilizada para a geração de energia elétrica será uma fonte de poluição atmosférica por Mercúrio, a redução na demanda por eletricidade a partir da utilização de fontes de luz a descarga confere maior eficiência em uso final e permitirá redução das emissões de Mercúrio ao longo do ciclo de vida da fonte de luz artificial. Quando a geração de energia tem base em recursos naturais hídricos, a situação de emissão pode ficar invertida [17].

Para a chamada “poeira fosforosa” não pode ser localizado valor econômico praticado, tão pouco pode ser obtida alguma amostra no mercado. Nela pode ser encontrado o Mercúrio na concentração de 4,7 g/kg, dentre 15 elementos constituintes, conforme tabela 5, Anexo II. Não foi verificado, na literatura consultada, qualquer limite de concentração de Hg para o pó de lâmpadas fluorescentes.

A solubilidade do pó branco obtido de duas lâmpadas HID, foi testada em água e álcool e mostrou-se ruim. Isto não permitiu a formação de filme sobre vidro, a deposição ficou bastante irregular. Tanto as laminas quanto o pó branco no interior do frasco, ao serem irradiados com fontes de radiação UV (germicida e luz negra) apresentaram fluorescência com emissão na cor vermelha, porém com intensidades diferentes. O pó branco do frasco nº 1, cuja solubilidade foi a pior apresentando menor intensidade de fluorescência quando comparado ao pó branco do frasco nº 2 e sob radiação UV germicida. Ambas as amostras apresentaram intensidade de fluorescência similar quando sob UV tipo luz negra.

---

<sup>1</sup> Com base em aproximadamente 620 milhões de lâmpadas fluorescentes descartadas anualmente nos EUA, foi estimado emissão de 2 a 4 toneladas de Hg/ano. Também está sinalizado que o nível de Hg do ar, na vizinhança de bulbos após abertos pode exceder aos limites fixados para exposição ocupacional norte-americano.

## Conclusões

Foi considerado o impacto da utilização de lâmpada a descarga em gases, não exclusivamente sob o prisma energético, mas agregando também a preocupação com a questão ambiental. Na situação brasileira atual, cuja geração de eletricidade não está baseada na queima de carvão, a maior difusão de iluminantes com base no Hg e caso não haja uma gestão que trate dos resíduos, diferentemente de outros países, poderá ocorrer elevação na emissão de Hg.

Uma questão central necessita ser respondida: o que ainda é necessário para estabelecer um destino seguro aos materiais constituintes das lâmpadas consideradas. Um reaproveitamento que torne mínimo os impactos negativos ao meio causados pelo Mercúrio, além de outros elementos perigosos, que aparentemente já está equacionado pelo setor de comércio e serviços, isso poderá ser enfrentado junto ao setor residencial desde que sejam repassados conhecimentos e práticas. Também é necessária adequada valorização aos resíduos sólidos, após eles terem sido “descontaminados”.

Existe variabilidade nos dados coligidos sobre a quantidade de Hg por lâmpada a descarga, particularmente do tipo fluorescente. A redução tem sido atribuída a tecnologia utilizada no processo fabril e adequação ao longo do tempo. Não é conhecida a disponibilidade de metodologia local para a rápida quantificação da concentração de Hg nos componentes das lâmpadas a descarga ao final da sua vida útil. A justificativa encontrada faz referência a difusão de Hg e que este fica ancorado nos materiais que constituem a lâmpada.

Aparentemente o revestimento interno de lâmpada a descarga em gases (o pó fluorescente) é um material com potencial para aplicação na montagem de *OLEDs* (diodos orgânicos emissores de luz) capaz de produzir luz branca.

## Referências

- [1] Durão Junior, W. A. et al. (2008), A questão do Mercúrio em Lâmpadas Fluorescentes. *Química Nova na Escola*, n.28, p.15-19, Maio.
- [2] Heijungs, R., Kleijn, R. (2001): Numerical Approaches Towards Life Cycle Interpretation. *Int J LCD* 6 (3), p.141-148. Disponível em : <<http://www.life-cycle.org>> Acesso em: 08 Mai. 2010.
- [3] Faria, N. *Revista Lumière*, ed.137, p.49, maio, 2008.
- [4] Report on the Generation and Potential Recycling of Fluorescent Lights NC DENR, Division of Pollution Prevention and Environmental Assistance, Division of Waste Management, p.6.
- [5] Ribeiro, M. R. (2010), *Análise do ciclo de vida: lâmpada fluorescente versus lâmpada incandescente, cenário atual e estudo de caso na Universidade de São Paulo*, Monografia de especialização – Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios do Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, 54 p., 02/Jun.
- [6] Atiyel, S. O. (2001), *GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: O CASO DAS LÂMPADAS FLUORESCENTES*. Dissertação ao Programa de pós-graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 101p., Nov.
- [7] Sanches, Everton de Sá Segóbia (2008) *LOGÍSTICA REVERSA DE PÓS-*

CONSUMO DO SETOR DE LÂMPADAS FLUORESCENTES. V CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, (CON08-0354), 11p., 18 a 22 de agosto de 2008 – Salvador – Bahia – Brasil.

- [8] Zanicheli, C. et al. (2004), Reciclagem de lâmpadas Aspectos Ambientais e Tecnológicos. PONTIFÍCA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS AMBIENTAIS E DE TECNOLOGIAS FACULDADE DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 21p., Nov.
- [9] Jardim, A. (2010), Programa Nacional de Resíduos Sólidos. Seminário de Reciclagem e Valorização dos Resíduos Sólidos Meio Ambiente 2010, EPUSP, em 14/Maio/2010.
- [10] Naime, Roberto e Ana Cristina Garcia (2004), PROPOSTAS PARA O GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS DE LÂMPADAS FLUORESCENTES Revista Espaço para a Saúde, Londrina, v.6, n.1, p.1-6, Disponível em : <<http://www.ccs.uel.br/espacoparasaude>>, dez.
- [11] 111/24/CD - IEC TC 111 Working Group 3 (2005), IEC 62321 Procedures for the Determination of Levels of Six Regulated Substances (Lead, Mercury, Hexavalent Chromium, Polybrominated Biphenyls, Polybrominated Biphenyl Ether) in Electrotechnical Products, 91p. (cujo draft foi acessado, em 01/jun./2010, arquivo: <RoHS\_testing\_IEC\_62321\_Draft.pdf>.
- [12] (34A/1389) IEC 62554 Ed.1: Measurement of mercury level in fluorescent lamps - Sample preparation for measurement of mercury level in fluorescent lamps, ver p.12 do Boletim ABNT, Maio, 2010.
- [13] Gestão de Lâmpadas Fluorescentes da Escola Politécnica da USP (2010), palestra no V Seminário “Reciclagem e Valorização de Resíduos Sólidos”, EPUSP, 4p., material de apresentação realizada em 14/Maio.
- [14] Sampaio, M. R. F.; SÁ, Jocelito Saccol (2009) DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES PÓS-CONSUMO EM PELOTAS, RS. Livro de Resumos da 2ª Mostra de Trabalhos de Tecnologia Ambiental, p.36-39.
- [15] Recycling Household CFLs (2007), National Electrical Manufacturers Association, 5p., September.
- [16] Aucott, Michael, Michael McLinden, and Michael Winka (2004), Release of Mercury From Broken Fluorescent Bulbs. Environmental Assessment and Risk Analysis Element, Research Project Summary, 4p., STATE OF NEW JERSEY, Division of Science, Research and Technology, February.
- [17] Eckelman MJ, Anastas PT, Zimmerman JB. (2008), Spatial assessment of net mercury emissions from the use of fluorescent bulbs. Environ Sci Technol. 15; 42(22):8564-70, Nov.
- [18] Inform (2003), Inc. Purchasing for Pollution Prevention Mercury Disclosure Requirements and the New Jersey Lamp Contract., December. In: Progress Energy – key points, 3p.
- [19] eEPA-453R-94-018 (1994), EVALUATION OF MERCURY EMISSIONS FROM FLUORESCENT LAMP CRUSHING. CTC, Emission Standards Division Office of Air Quality Planning and Standards, Air and Energy Engineering Laboratory, Office of Research and Development, Feb.

**Anexo I - Conteúdo de Hg em lâmpada a descarga em gases (mercado EUA).**

**Tabela 1 – Conteúdo de Hg (média e faixa) por tipo de lâmpada a descarga em gases. Valores em mg de Hg/unidade. Fonte: [18].**

Milligrams of Mercury in Lighting Products		
Lamp Type	Range	Average
T-12	20-80	23
T-8	3-22	14
CFL	2-30	4
Mercury Vapor <sup>1</sup>	15-250	45
Metal Halide <sup>1</sup>	5-165	30
HPS <sup>2</sup>	5-30	10

Notas: <sup>1</sup> Fonte: High-Intensity Discharge Lamps Analysis of Potential Energy Savings (EERE, December, 2004); e

<sup>2</sup> Estimativa.

**Tabela 2 – Conteúdo de Hg para lâmpada fluorescente nova. Fonte: [19].**

Manufacturer	Mercury Content (mg of mercury/lamp)
General Electric	35.8
General Electric	40.2
General Electric	29.3
General Electric	33.0
General Electric	18.8
General Electric	15.1
General Electric	14.3
General Electric	15.7
General Electric	19.1
General Electric	20.5
General Electric	44.8
General Electric	15.7
Minimum	14.3
Maximum	44.8
Average	25.19
Standard Deviation	10.87

**Tabela 3 – Conteúdo de Hg para lâmpada fluorescente após o término da vida útil. Fonte: [19]**

Manufacturer	Mercury Concentration (mg of mercury/lamp)
Westinghouse	21.0
Westinghouse	16.6
Westinghouse	17.2
Westinghouse	61.5
General Electric	24.4
General Electric	23.1
General Electric	0.72
General Electric	36.1
General Electric	115.0
General Electric	27.2
Dayton	22.5
Phillips	17.5
General Telephone & Electric	48.0
Minimum	0.72
Maximum	115.0
Average	33.14
Standard Deviation	28.91

Tabela 4 – Conteúdo de Hg (em mg) para vários tipos de lâmpadas compactas (LFBU) a descarga em gases. Fonte: [18].

Brand	Type	Length (inches)	Watts	Other Information	Mercury (mg)
GE	CFL	6.06	18	Compact fluorescent 4-pin EOL	11 to 30
Sylvania	CFL	6.8	26	PL-C cluster 2-pin	13 to 18
Sylvania	CFL	5.5	15	Self-ballasted CFL with med screw base	2 to 4
Sylvania	CFL	5.8	18	Dimmable, 4-pin base, double tube	2 to 4
Sylvania	CFL	5.125	15	Spiral CFL with med screw base	10 to 14
Sylvania	CFL	5.5	20	Spiral CFL with med screw base	10 to 14
Philips	CFL	7	13	Short fluorescent, 2GX7 base	1.4
Sylvania	CFL	5.125	15	Spiral CFL with med screw base	10 to 15
GE	CFL	7	13	Biax CFL with GX23 base	11 to 30
Philips	CFL	7	13	Compact fluorescent black light	5.5
Philips	CFL	n/a	7	Compact fluorescent	5.5
Philips	CFL	n/a	7	Short fluorescent	5.5
Philips	CFL	n/a	9	Short fluorescent	5.5
Philips	CFL	22 1/2	38	Long fluorescent with 4-pin base	4.4

## Anexo II – Composição amostrada para o revestimento interno típico de lâmpada fluorescente tubular.

Tabela 5 – Resultado de análise sobre concentração dos elementos contidos no “pó fosforoso” de lâmpada fluorescente tubular nova. Fonte: [19].

Element	Concentration (mg element/kg phosphor powder)
Aluminum	3,000
Antimony	2,300
Barium	610
Cadmium	1,000
Calcium	170,000
Chromium	9
Cobalt	2
Copper	70
Iron	1,900
Lead	75
Magnesium	1,000
Manganese	4,400
Mercury	4,700
Nickel	130
Potassium	140
Sodium	1,700
Zinc	48

## Contato

Universidade de São Paulo - Instituto de Eletrotécnica e Energia – IEE/USP  
 Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289; CEP 05508-010, Butantã, Cidade Universitária,  
 São Paulo Capital.  
 telefones: 011 3091 2572 ou 2579; fax: 011 3812 9251; e-mail: elvo@iee.usp.br.