

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS**  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS AMBIENTAIS E DE TECNOLOGIAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**Reciclagem de lâmpadas**  
**Aspectos Ambientais e Tecnológicos**

Claudia Zanicheli RA 00011890  
Ivan Bueno Peruchi RA 00013979  
Luis Augusto Monteiro RA 02260990  
Suely Ap. da Silva João RA 01077684  
Vitor Flávio Cunha RA 00002436

Campinas, 09 de Novembro de 2004

## ÍNDICE

1. Introdução.....	2
2. Tipos de lâmpadas .....	2
2.1. Tipos de Lâmpadas contendo Mercúrio .....	3
2.2. Classificação dos tipos de lâmpadas quanto aos impactos ambientais.....	4
2.3. Impactos Ambientais no Descarte Inadequado de Lâmpadas Contendo Mercúrio .....	5
2.3.1 – Sódio .....	6
3. Gestão de Lâmpadas Pós-Uso .....	7
3.1. Definições .....	7
4. Tecnologias e Alternativas existentes a nível mundial.....	7
4.1 Disposição em aterros .....	8
4.2. Moagem simples.....	8
4.2. Moagem com Tratamento Térmico.....	11
4.3. Moagem com Tratamento Químico .....	12
4.5. Tratamento por sopro .....	13
4.6 – Solidificação/Encapsulamento.....	14
4.7 – Lâmpadas de Bulbo – Separação Pré-Tratamento .....	14
4.8 – Reciclagem de Lâmpadas Incandescentes.....	15
5. Tratamento de Lâmpadas no Brasil .....	16
5.1. Apliquim .....	16
5.2. Mega Reciclagem .....	17
5.3. Brasil Recycle .....	18
5.4. Naturalis Brasil.....	19
6. Bibliografia .....	200

## 1. Introdução

Desde que a primeira fonte de luz elétrica foi inventada em 1879 por Thomas Alva Edson, contínuos esforços têm sido empregados para criar melhores e efetivas fontes de luz artificial. Com o desenvolvimento tecnológico, surgiram no mercado sistemas de iluminação lâmpadas com maior eficiência na relação lumens por Watt, e uma dessas tecnologias aplicadas, é a utilização de mercúrio em lâmpadas de vapor de mercúrio, vapor de sódio, luz mista, fluorescentes tubular, circular e compacta.

Atualmente essas lâmpadas eficientes são bastante utilizadas no Brasil e, ainda que impacto sobre o meio ambiente causado por uma única lâmpada seja desprezível, o somatório de mercúrio consumido para a produção destas lâmpadas é da ordem de 10 toneladas ao ano.

Este trabalho busca analisar os impactos ambientais associados ao descarte destas lâmpadas contendo mercúrio, relacionando as tecnologias existentes no Brasil e no exterior que buscam evitar que o mercúrio seja fonte de contaminações ambientais.

## 2. Tipos de lâmpadas

Existe no mercado uma grande diversidade de lâmpadas com várias tecnologias de iluminação, tonalidades, tamanhos e poder luminoso, tendo um mundo de aplicações possíveis. Existem dois tipos principais de lâmpadas (lâmpadas de descarga e lâmpadas incandescentes), classificadas de acordo com o seu modo de funcionamento.

A lâmpada originalmente desenvolvida por Thomas Edson, que hoje conhecemos como “lâmpada incandescente”, utiliza um processo de irradiação termal, que consiste no aquecimento de um filamento de tungstênio ou no aquecimento dum filamento de tungstênio e um gás (halogênio). A corrente passa por um condutor de modo a aquecê-lo o máximo possível. Este aquecimento do filamento é convertido em luz quando o mesmo “incandesce”. Porém, tal processo possui uma eficiência energética baixa, uma vez que a dissipação de parte da energia elétrica sob a forma de calor, e não de luz, é inerente ao processo.

O desenvolvimento tecnológico buscou, então, a criação de lâmpadas onde a dissipação de energia sob a forma de calor fosse menor, ou mesmo inexistente. A tecnologia mais eficiente, e que conseqüentemente conquistou o mercado, é a de geração de luz a partir de uma descarga elétrica. As lâmpadas de descarga utilizam, portanto, um processo de descarga de corrente elétrica, conduzida por uma substância volátil (mercúrio líquido ou um gás).

Em condições normais, o ar e os gases dificilmente conduzem correntes elétricas se estiverem sob pressões muito altas (como, por exemplo, a atmosférica). Gases e vapores rarefeitos, contudo, permitem a passagem de eletricidade com relativa facilidade, gerando luz neste processo. Este é o princípio funcional das lâmpadas de descarga, categoria constituída por todas as lâmpadas que utilizam mercúrio em seu interior.

Dentro do envoltório de vidro de uma lâmpada fluorescente há argônio e vapor de mercúrio, rarefeitos. Em cada extremidade do tubo há um eletrodo sob a forma de um filamento, revestido com um óxido. Quando se liga a lâmpada, os filamentos se aquecem e emitem elétrons; isso inicia a ionização do gás. Um starter (disparador) interrompe então o circuito, automaticamente, e desliga o aquecimento dos filamentos. O reator, ligado à lâmpada, produz imediatamente um impulso de alta voltagem, que inicia a descarga no argônio. Essa descarga aquece e vaporiza o mercúrio, cuja maior quantidade está inicialmente sob estado líquido.

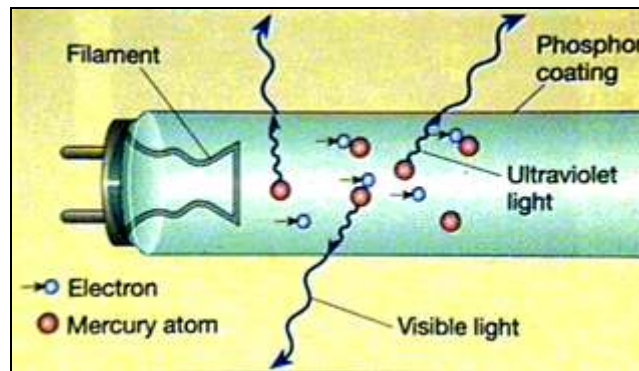


Figura 1: Funcionamento de Lâmpadas Fluorescentes

Os elétrons provenientes do filamento chocam-se com as moléculas de gás mercúrio contidas no tubo, o que produz não só a excitação como também a ionização dos átomos. Ionizados, os átomos do gás são acelerados pela diferença de voltagem entre os terminais do tubo, e ao se chocarem com outros átomos provocam outras excitações.

O retorno desses átomos ao estado fundamental ocorre com a emissão de fótons de energia correspondente à radiações visíveis e ultravioleta (invisíveis). A radiação ultravioleta, ao se chocar com o revestimento fluorescente do tubo (diversos sais de fósforo), produz luz visível.

Empregando-se misturas de materiais fotoluminescentes diversos é possível obter diferentes tons de luz de branca. A composição do revestimento das lâmpadas fluorescentes é cuidadosamente estudada de modo a fornecer o tom de branco mais adequado para lojas, escritórios ou residências.

Como nas lâmpadas fluorescente a maior parte da energia fornecida é transformada em luz, seu rendimento pode ser até cinco vezes maior do que o das lâmpadas incandescentes, que produzem muito mais calor. Simultaneamente, tal rendimento só é possível através do uso do mercúrio – até hoje não se descobriu um gás à temperatura ambiente que apresente esta característica de se ionizar e, ao voltar ao estado fundamental, produzirem luz.

O tubo usado numa lâmpada fluorescente padrão é fabricado com vidro, o qual é similar ao usado por toda a indústria de vidro para a fabricação de garrafas e outros itens de consumo comum. Os terminais da lâmpada são de alumínio ou plástico, enquanto os eletrodos são feitos de tungstênio, níquel, cobre ou ferro. Nenhum desses materiais apresenta risco potencial se a lâmpada quebrar, exceto o perigo óbvio do vidro quebrado. A camada branca, normalmente chamada de fósforo, que reveste o tubo de uma lâmpada fluorescente padrão é geralmente um clorofluorofosfato de cálcio, com pequenas quantidades de antimônio e manganês (1 a 2%) na matriz de fósforo. A quantidade destes componentes menores pode mudar ligeiramente dependendo da cor da lâmpada. Uma lâmpada padrão de 4' tem cerca de 4 a 6 gramas de poeira fosforosa.

As lâmpadas de mercúrio têm um tempo de vida de 3 a 5 anos, ou um tempo de operação de aproximadamente, 20.000 horas, sob condições normais de uso.

## 2.1. Tipos de Lâmpadas contendo Mercúrio

Como dito, o uso de mercúrio é inerente ao funcionamento das lâmpadas econômicas. Porém, a partir da década de 70, com o desenvolvimento da conscientização ambiental, surgiu uma forte pressão, em especial na Europa, visando a eliminação do uso do mercúrio. Países como a Suécia e a Alemanha possuem legislações regulamentando o uso de mercúrio que datam desta época.

O grande esforço dos produtores das lâmpadas, então, foi no sentido de desenvolver métodos de fabricação que minimizem a quantidade de mercúrio utilizada em cada lâmpada, o que levou ao surgimento de diversos tipos de lâmpadas, todas com o mesmo princípio funcional mas com diferentes teores de mercúrio. A tabela 1 apresenta estes tipos de lâmpadas, a figura 2 apresenta a redução histórica dos níveis de mercúrio encontrados em lâmpadas. Cabe salientar, também que a quantidade de mercúrio em uma lâmpada fluorescente varia consideravelmente de acordo com o fabricante, de uma fábrica para outra, do tipo de lâmpada e do seu ano de fabricação.

Tabela 1: Tipos de lâmpadas contendo mercúrio

Tipo de Lâmpada	Potência	Quantidade Média de Mercúrio	Varição das médias de Mercúrio por Potência
Fluorescentes Tubulares	15 W a 110 W	0,015 g	0,008 g a 0,025 g
Fluorescentes Compactas	5 W a 42 W	0,004 g	0,003g a 0,010 g
Luz Mista	160 W a 500 W	0,017 g	0,011 g a 0,045 g
Vapor de Mercúrio	80 W a 400 W	0,032 g	0,013 g a 0,080 g
Vapor de Sódio	70 W a 1000 W	0,019 g	0,015 g a 0,030 g
Vapor Metálico	35 W a 2000 W	0,045 g	0,010 g a 0,170 g

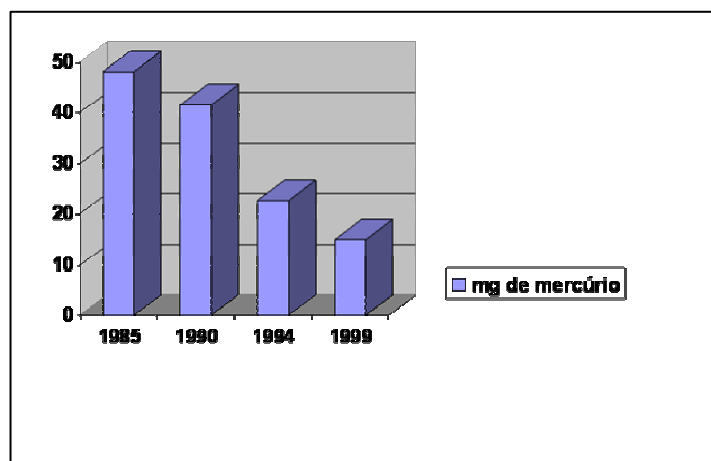


Figura 21: Redução histórica de níveis de mercúrio em lâmpadas

A produção brasileira, segundo a Associação Brasileira de Iluminação – ABILUX, é de cerca de 80 milhões de lâmpadas. A relação entre o número de lâmpadas queimadas e o número de lâmpadas fabricadas é de, aproximadamente, 1:1. Atualmente 60% das lâmpadas tubulares e 40% das lâmpadas compactas - eletrônicas são de fabricação nacional, sendo o restante importada.

Segundo trabalhos realizados pela Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (ABILUX) sobre conservação de energia, a iluminação consome 24% de toda a energia elétrica produzida em nosso país. A substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes é cada dia maior, o que vem acarretando uma importante redução no consumo de energia. No caso da substituição por fluorescentes compactas, esta redução pode alcançar até 80%, durabilidade de até 8 vezes mais e melhoria significativa no conforto e na iluminação.

## 2.2. Classificação dos tipos de lâmpadas quanto aos impactos ambientais

A Instituição “Net Resíduos”, de Portugal, realizou um estudo quanto aos riscos inerentes aos usos das lâmpadas, com base nas legislações vigentes na Comunidade Européia e na presença, na lâmpada, de compostos potencialmente perigosos. Neste estudo, foi realizada a distinção dos tipos de lâmpadas existentes em duas categorias distintas: “lâmpadas não - potencialmente perigosas para o meio ambiente” (basicamente, as lâmpadas incandescentes), e “lâmpadas potencialmente perigosas para o meio ambiente” (basicamente, as lâmpadas contendo mercúrio). As tabelas 2 e 3 abaixo apresentam o resultado desta classificação.

Segundo o estudo realizado pela “Net Resíduos”, existem pelo menos doze elementos que são utilizados em lâmpadas que podem originar impactos ambientais negativos. Estas substâncias são as seguintes: mercúrio, antimônio, bário, chumbo, cádmio, índio, sódio, estrôncio, tálio, vanádio, ítrio e elementos de terras raras (ETR). Todos os estudos referentes ao impacto ambiental das lâmpadas mencionam-se em seguida apenas o mercúrio e o sódio, visto serem os que têm mais relevância quantitativa nas lâmpadas.

Tabela 2: Lâmpadas Não Potencialmente Perigosas para o Ambiente

Lâmpadas Não Potencialmente Perigosas para o Ambiente				
	Tipos	Funcionamento	Componentes	Usos
Lâmpadas Incandescentes	Sem Halógeno	Irradiação Termal	Vidro, Metal (alumínio), Tungstênio, Criptônio, Xenônio	Espelhos, Quadros, Mobiliário de cozinha, Áreas sociais, Exteriores
	Tungstênio-Halógeno	Irradiação Termal	Vidro de quartzo, Metal (Alumínio), Tungstênio, Criptônio, Xenônio, Bromo, Cloro, Flúor, Iodo, Halogéno-Hidrogênio (insignif)	Museus, Hotéis, Restaurantes, Sit.Domésticas, Campos de Desporto, Parques de Estacionamento, Jardins públicos, Pistas de aeroportos

Tabela 3: Lâmpadas Potencialmente Perigosas para o Ambiente

Lâmpadas Não Potencialmente Perigosas para o Ambiente				
	Tipos	Funcionamento	Componentes	Usos
Lâmpadas Descarga Fluorescentes	Lâmpadas Descarga Fluorescentes	Descarga de Corrente Elétrica	Vidro, Metal (Alumínio) Mercúrio (10mg), Fósforo, Antimônio, Estrôncio, Tungstênio, Argão, Índio Bário, Ítrio, Chumbo, ETR	Áreas residenciais, Parques, Grandes Áreas de superfície, Hospitais, Teatros, Anúncios
	Vapor de mercúrio de alta pressão	Descarga de Corrente Elétrica	Vidro, Metal (Alumínio), Mercúrio, gases inertes, estrôncio, bário, Ítrio, Chumbo, Vanádio, ETR	Ilumin. de entradas, Decoração Interior, Centros Comerciais, Vias de Trânsito, Instal. Fabris
	Vapor Metálico	Descarga de Corrente Elétrica	Vidro, Metal (Alumínio), Sal de Sódio, Mercúrio, Iodetos de metal, gases inertes, Césio, Estanho, Tálcio, Estrôncio, Bário, Ítrio, Chumbo, Vanádio, ETR	Z.abertas, Recintos desportivos, Z.indust,Montras de lojas, Iluminação pública
	Vapor de Sódio de Alta Pressão	Descarga de Corrente Elétrica	Vidro, Metal(Alumínio)Gás de Sódio, Gases inertes, Mercúrio (pequenas quantid.), Bário, Ítrio, Chumbo, , Estrôncio Vanádio, ETR	Z.indust, Ruas, Exposições, Pontes, Linhas de comboio, Estradas, Tunéis, Indústria pesada
Lâmpadas de descarga não fluorescentes de baixa pressão	Vapor de sódio de baixa pressão	Descarga de Corrente Elétrica	Vidro, alumínio, sódio, mercúrio, gases inertes, ETR	Ilumin. Pública (auto-estradas, túneis, parques de estacionamento)
	Sódio-Xénon	Descarga de Corrente Elétrica	Vidro, alumínio, sódio, mercúrio, gases inertes, ETR	Ruas, Passeios, Largos, Parques, Áreas residenciais, Estátuas

### 2.3. Impactos Ambientais no Descarte Inadequado de Lâmpadas Contendo Mercúrio

Hoje, a iluminação eficiente e a melhoria contínua das fontes de luz artificial devem considerar como foco importante não só o custo de produção, mas também a proteção ao ambiente e ecossistemas.

O mercúrio é considerado o elemento potencialmente mais perigoso entre os constituintes das lâmpadas, encontrando-se num estado e composição bastante volátil nas condições normais de pressão e temperatura. É considerado pelos fabricantes de lâmpadas (OSRAM) e pelo ELC (European Lighting Companies Federation) como a única substância de relevância ecológica representando elevados riscos ambientais. Esta conclusão baseia-se no fato de que muitas das outras substâncias estão presentes em composições estáveis (por exemplo, o sódio em sais de sódio nas lâmpadas de halógenos metálicos) ou dentro de uma matriz de outros materiais (por exemplo, o chumbo encontrado na forma de óxido dentro da composição do vidro). Nos Estados Unidos, as lâmpadas foram consideradas pela EPA americana como a segunda maior fonte de mercúrio em resíduos sólidos urbanos, logo a seguir às pilhas.

Ao final de sua vida útil as lâmpadas contendo mercúrio são, na maioria das vezes, destinadas aos aterros sanitários contaminando o solo e, mais tarde, os cursos d'água. A presença de mercúrio nas águas, mesmo que em pequenas quantidades, representa um grande problema ecológico devido à sua bioconcentração, ou seja, a concentração de mercúrio aumenta nos organismos animais com a passagem através da cadeia alimentar, devido ao depósito do metal em vários tecidos vivos.

Assim, os organismos situados no final da cadeia alimentar apresentam uma concentração mais elevada e, por vezes, perigosa para o próprio animal ou para os que deste se alimentam, originando sérios problemas de saúde pública, podendo intoxicar comunidades inteiras, além dos prejuízos econômicos que daí possam advir.

A via respiratória é a mais importante via de penetração e absorção do mercúrio pelo organismo do ser humano. Um indivíduo adulto pode respirar cerca de 4 m<sup>3</sup> de ar por dia de trabalho (8 horas), o que lhe proporcionará absorção de quantidade relativamente alta de mercúrio. Uma concentração de 0,04 mg de Hg/m<sup>3</sup> de atmosfera em ambiente de trabalho é considerada satisfatória, não produzindo uma incidência significativa de sinais e sintomas de intoxicação.

A ação tóxica do mercúrio se manifesta, sobretudo, nas células do sistema nervoso, originando o quadro clínico característico do mercurialismo, com tremores das mãos e eretismo, que é um comportamento anormal e introvertido.

A exposição mercurial tem provocado profundos efeitos sobre a saúde humana. Antologicamente, um dos mais trágicos exemplos de envenenamento pelo mercúrio aconteceu na Baía de Minamata – Japão, na década de 1950, onde mulheres grávidas foram expostas a altos níveis de mercúrio através do consumo de peixes contaminados. Como resultado desta exposição, seus descendentes desenvolveram múltiplos sintomas neurológicos (microcefalia, hipoplasia e atrofia do cérebro).

É importante salientar, porém, que as lâmpadas não são os únicos produtos ou resíduos contendo mercúrio. O mercúrio é amplamente utilizado em centenas de aplicações industriais e domésticas. Devido às suas propriedades únicas, o mercúrio é um componente essencial em um grande número de produtos, tais como lâmpadas fluorescentes, pilhas e baterias e, até mesmo, em produtos medicinais. Segundo estudos da ABILUX, o Brasil importa anualmente cerca de 300 toneladas de mercúrio metálico. Desta quantidade, 1,1 toneladas são utilizadas na fabricação de lâmpadas. A figura 3 apresenta um diagrama dos usos do mercúrio no Brasil.

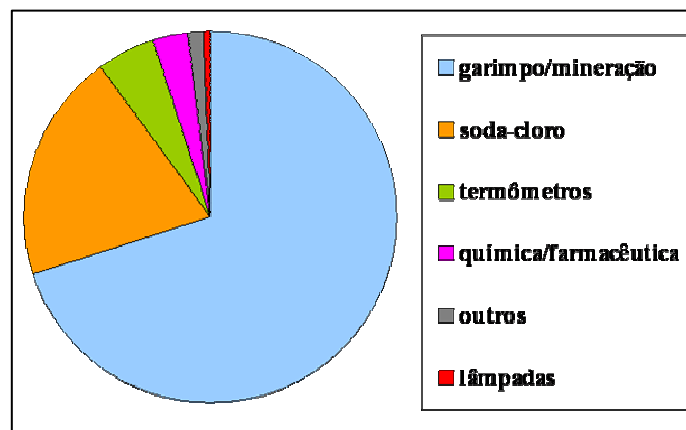


Figura 3: Usos de Mercúrio no Brasil

No que tange à gestão de resíduos no Brasil, esta argumentação da ABILUX não é válida. De fato, a maior utilização de mercúrio no país ocorre em garimpos, usualmente sem qualquer controle ambiental sobre suas emissões ou resíduos. Porém, o fato de existir uma fonte mais significativa de impactos não isenta a sociedade de buscar uma solução para o problema das lâmpadas.

### 2.3.1 – Sódio

No caso dos sais de sódio presentes nas lâmpadas de sódio a baixa pressão, existe algum risco de reação destes com água, aonde produzem soluções potencialmente corrosivas de hidróxido de sódio e a gás de hidrogênio que é extremamente inflamável e explosivo.

### 3. Gestão de Lâmpadas Pós-Uso

A prática corrente de descarte de lâmpadas que predomina amplamente é a modalidade feita diretamente no lixo. Os setores público e industrial são os maiores geradores de descarte de lâmpadas tipo HID – high intensity discharge (vapor de mercúrio, vapor de sódio, mista e multivapores metálicos) e lâmpadas fluorescentes, respectivamente. Constatou-se que as empresas privadas e órgãos públicos, de um modo geral, desconhecem os efeitos adversos causados pelo mercúrio e, em decorrência da ausência de uma legislação específica, não sabem como gerenciar os resíduos desse metal. Em 1998, 48,5 milhões de unidades de lâmpadas de mercúrio foram descartadas, com uma carga poluidora de 1.000 kg de Hg (média de 20,6 mg/lâmpada). Já no ano de 2001, esse descarte passou a 80 milhões de unidades, em virtude do plano de racionamento de energia elétrica que motivou a troca de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas mais eficientes, principalmente no setor residencial. O foco da contaminação está localizado na Região Sudeste, que concentra 60% da economia brasileira. Do descarte total, somente 3% têm destinação ambientalmente adequada por meio do processo de destruição e descontaminação. Isso é feito voluntariamente por empresas que possuem um sistema controlado de descarte de seus resíduos e/ou por aquelas interessadas em certificação pelas normas da série ISO 14.000.

No que se refere às alternativas de destino para lâmpadas pós-uso, a reutilização que poderia ser a solução mais eficiente em termos de matérias-primas ainda não é tecnologicamente muito viável devido ao desenho corrente das lâmpadas, deste modo o maior esforço tem sido ao nível da prevenção e da reciclagem. A escolha de lâmpadas que têm vantagens em termos de economia de energia (lâmpadas de descarga), resulta na prevenção do consumo de energia durante a sua utilização (não está considerado aqui o balanço do consumo energético implicado em sua fabricação e pelo seu tratamento de fim de vida). É possível, assim obter-se uma redução no consumo energético para se obter a mesma quantidade de luz (fluxo luminoso).

A estratégia de gestão dos resíduos de lâmpadas, em alguns países da Europa e nos Estados Unidos, tem obedecido aos seguintes princípios:

- Redução da produção, em termos quantitativos e qualitativos, através da substituição por outras fontes de iluminação que contenham menores quantidades de mercúrio e semelhante impacto ambiental. Os dados divulgados pelos fabricantes de lâmpadas têm indicado uma redução sistemática dos teores de mercúrio utilizados;
- Coleta seletiva, separando as lâmpadas fluorescentes das incandescentes, de modo a prevenir a contaminação de solos e águas e riscos diretos para a saúde das pessoas expostas ao seu manuseio;
- Valorização por reciclagem, dos materiais constituintes, sempre que técnica e economicamente viável;
- Sujeição a tratamento prévio, podendo a sua deposição em aterro ser utilizada apenas como último recurso.

#### 3.1. Definições

Usualmente, a aplicação do termo reciclagem aos processos de tratamento de lâmpadas leva ao raciocínio de que as lâmpadas irão voltar a acender. Isto, de fato, não ocorre. Uma lâmpada “queima” quando um de seus filamentos se rompe, impedindo a passagem de corrente elétrica. Para que uma lâmpada voltasse a acender, seria necessário abri-la, com perda da pressão baixa em seu interior e de mercúrio para o meio ambiente. Tal sistemática não é utilizada em lugar algum do mundo.

Deste modo, para evitar confusões com relação à terminologia empregada neste trabalho, convencionou-se definir as alternativas em três grupos principais:

- *disposição final*: quando a lâmpada como um todo ou um de seus componentes, antes ou após o tratamento, é encaminhada diretamente para aterros.
- *tratamento (destruição/descontaminação)*: processos utilizados para remoção do mercúrio da lâmpada;
- *reciclagem*: reaproveitamento dos materiais constituintes das lâmpadas para outras aplicações.

### 4. Tecnologias e Alternativas existentes mundialmente

Usualmente, como mencionado acima, o destino de lâmpadas queimadas são aterros, controlados ou não. Processos para tratamento das lâmpadas são conhecidos desde a década de 70, quando a MRT Technologies surgiu na Suécia, tornando-se a primeira empresa no mundo a realizar o tratamento das lâmpadas.

As alternativas existentes para a destinação final e/ou tratamento das lâmpadas estão relacionadas abaixo:

- disposição em aterros (com ou sem um pré-tratamento);
- Moagem simples (com ou sem separação dos componentes);
- Moagem com tratamento térmico;
- moagem com tratamento químico;
- Tratamento por sopro;
- Solidificação/Encapsulamento (cimento e ligantes orgânicos);

#### **4.1 Disposição em aterros**

O uso de aterros para a disposição de resíduos é tão antiga quanto a própria história humana. A medida que o ser humano evoluía, passou a ter consciência de que manter seus resíduos dispostos a céu aberto implicava em uma série de inconvenientes – cheiros desagradáveis, proliferação de insetos, atração de animais predadores, entre outras. Então, há milênios o homem passou a enterrar seus dejetos para se livrar de inconvenientes.

Esta mesma sistemática continua sendo adotada até hoje, mesmo para resíduos químicos e perigosos. No início do século 20, muitas indústrias do primeiro mundo enterravam seus resíduos dentro de seu próprio terreno, ou em outras áreas então não habitadas, sem qualquer preocupação quanto aos impactos ambientais envolvidos. Esta sistemática trouxe muitos inconvenientes para nossa geração, desde o grande número de passivos ambientais que só agora estão sendo identificados, como casos em que houve real contaminação da população – como o clássico caso do Love Channel, nos Estados Unidos.

Ainda que nos dias de hoje existam aterros específicos para resíduos perigosos, a disposição de resíduos contendo mercúrio nos mesmos é polêmica, por uma série de fatores. Em primeiro lugar, o mercúrio é um metal volátil, e estudos recentes indicam que ele pode se difundir através do solo, posteriormente volatilizando-se para a atmosfera. Segundo, o mercúrio tem grande facilidade em se transformar em compostos orgânicos, através da ação de bactérias, compostos estes que são solúveis e muito mais tóxicos que o próprio mercúrio metálico. Ainda que aterros modernos possuam tecnologia para realizar a captação das águas de chuva que se infiltrem nas células dos aterros (o “churume”), as tecnologias existentes e comercializadas para o tratamento do churume não são eficazes para a recuperação do mercúrio.

Um fato adicional é que cerca de 99% dos constituintes das lâmpadas são materiais facilmente recicláveis, a saber:

- mercúrio pode ser reutilizado na construção de novas lâmpadas, termômetros e outros produtos;
- vidro pode ser utilizado na fabricação de contêineres não alimentícios, misturado ao asfalto e manilhas de cerâmica;
- alumínio pode ser reciclado e utilizado para qualquer fim.

Assim, ainda que seja uma alternativa controlada, aterros possuem variáveis ambientais que ainda não foram quantificadas, e é incerto se a disposição de mercúrio metálico nos mesmos não irá acarretar em um problema ambiental ainda maior no futuro. Além disso, a disposição no aterro do vidro, do alumínio e do mercúrio é contrária a filosofia do desenvolvimento sustentável, que busca justamente minimizar a extração de matérias-primas do meio ambiente.

#### **4.2. Moagem simples**

O processo de moagem simples visa realizar a quebra das lâmpadas, utilizando-se um sistema de exaustão para a captação do mercúrio existente nas lâmpadas. Usualmente, as tecnologias empregadas não se preocupam em separar os componentes, visando apenas a captação de parte do mercúrio existente nas lâmpadas. Deste modo, o teor mercúrio ainda presente no produto da moagem é inferior ao anteriormente encontrado nas lâmpadas quando inteiras, com a vantagem de

inexistir riscos de ruptura das lâmpadas e emissão de vapores quando da disposição destes resíduos em aterros.

O mais popular sistema de moagem simples foi desenvolvido pela Air Cycle Corp., dos Estados Unidos, e é conhecido mundialmente como “Bulb Eater” (comedor de lâmpadas). O equipamento consiste em um moinho de lâmpadas montado sobre um tambor metálico, com sistema de exaustão para captura de vapores de mercúrio. Os gases exauridos pela unidade passam por um filtro de tecido, e um filtro de carvão ativado (no qual é agregado 15% em peso de enxofre amarelo), antes da emissão para a atmosfera. O enxofre combina-se com o mercúrio, formando sulfeto de mercúrio, composto insolúvel e não volátil. O sistema trabalha com uma vazão de exaustão de  $68 \text{ m}^3/\text{h}$ .



Figura 4: Sistema Bulb Eater de Moagem de Lâmpadas

Estudos desenvolvidos pela EPA americana indicam que a concentração de mercúrio nos gases antes do tratamento nos filtros é de  $4 \text{ mg/m}^3$ , e após o tratamento dos gases esta concentração cai para  $0,045 \text{ mg/m}^3$  – uma eficiência no controle dos gases de 98,9%. Porém, isto ainda representa uma taxa de emissão de 3,06 mg de mercúrio por hora.

A popularidade do Bulb Eater é decorrente de sua praticidade: é um equipamento pequeno, de fácil operação e mobilidade e proporcionalmente mais barato que outras tecnologias. Existem processos similares, em modo fixo ou móvel, como o apresentado nas figuras abaixo.

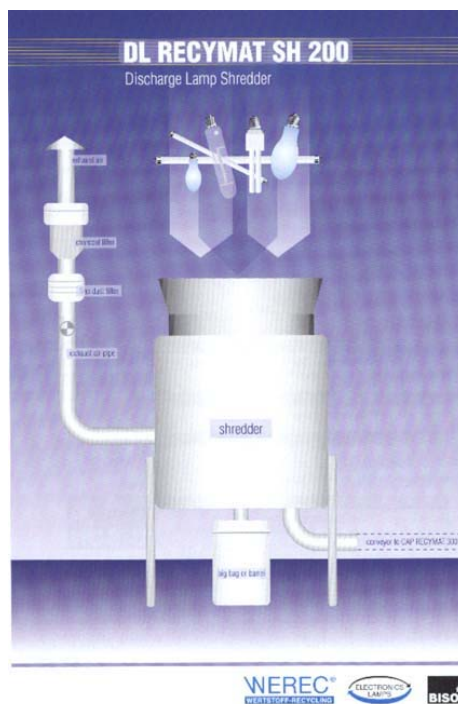


Figura 5: sistema de moagem simples comercializado pela Werrec



Figura 6: Outros sistemas de moagem simples



Figura 7 – Sistemas de moagem simples sem uso de tambor

É possível se realizar a moagem simples com separação contínua dos componentes – mas não no processo Bulb Eater. Em equipamentos fixos, pode-se adaptar um leito vibratório na saída dos materiais, seguido de uma peneira para separação dos mesmos. A figura abaixo apresenta uma das alternativas existentes comercialmente.

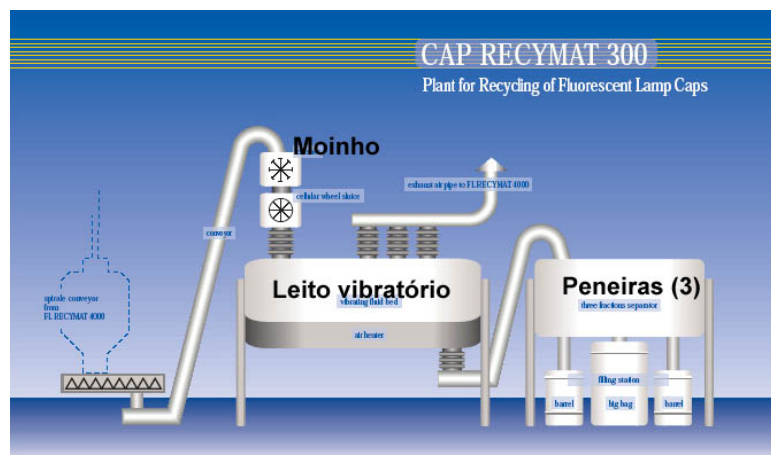


Figura 8: Moagem simples com separação dos componentes

Vale salientar, porém, que a literatura mundial indica que o mercúrio nas lâmpadas, quando estas estão apagadas, encontra-se primordialmente na forma líquida, depositado sobre as paredes internas do vidro. Deste modo, a moagem simples não faz a remoção de todo o mercúrio da lâmpada, apenas evita que o mercúrio que se encontra na forma gasosa escape para o meio ambiente. Além disso, a menos que a instituição possua uma unidade de tratamento térmico, todo o mercúrio recuperado nos filtros acabará disposto em aterro junto com os respectivos filtros.

Esta é, no momento, a única tecnologia que permite a recuperação de mercúrio a partir de lâmpadas fluorescentes compactas.



Figura 9: Lâmpadas fluorescentes compactas

#### 4.2. Moagem com Tratamento Térmico

Este é o processo de reciclagem mais usual e em operação em várias partes do mundo encontra-se apresentado na Figura abaixo, e envolve basicamente duas fases: fase de esmagamento e fase de destilação do mercúrio – daí o nome tratamento térmico.

Na fase de esmagamento as lâmpadas usadas são introduzidas em processadores especiais para esmagamento, quando então os materiais constituintes são separados em 5 classes:

- terminais de alumínio;
- pinos de latão/ componentes ferro-metálicos;
- vidro;
- poeira fosforosa rica em mercúrio e
- isolamento baquelítico.

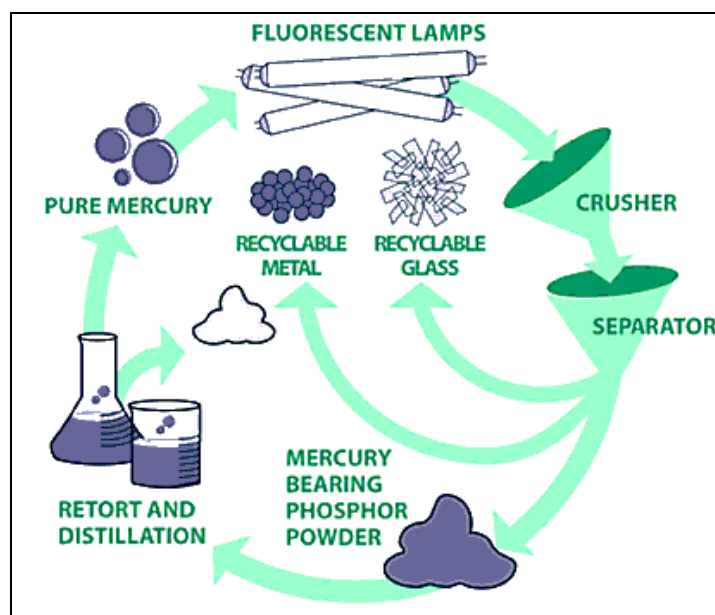


Figura 10: Tratamento Térmico de lâmpadas

No início do processo, as lâmpadas são implodidas e/ou quebradas em pequenos fragmentos, por meio de um processador (britador e/ou moinho). Isto permite separar a poeira de fósforo contendo mercúrio dos outros elementos constituintes. As partículas esmagadas restantes são, posteriormente, conduzidas a um ciclone por um sistema de exaustão, onde as partículas maiores, tais como vidro quebrado, terminais de alumínio e pinos de latão são então separados e ejetados para fora do ciclone, onde então são separados por diferença gravimétrica e por separação eletrostática. A poeira fosforosa e particulados são coletados em um filtro no interior do ciclone. Posteriormente, por um mecanismo de pulso reverso a poeira é retirada deste filtro e transferida para uma unidade de destilação para recuperação do mercúrio (2ª fase do processo). O vidro, em pedaços, é então limpo, testado e enviado para reciclagem. A concentração média de mercúrio no vidro não excede 1,3 mg.kg<sup>-1</sup>. O vidro nesta circunstância pode ser reciclado para ser reutilizado, por exemplo na

fabricação de produtos para aplicação não-alimentar. O alumínio e pinos de latão, depois de limpos, podem ser enviados para reciclagem em uma fundidora. A concentração média de mercúrio nestes materiais não excede 20 mg.kg-1. A poeira de fósforo é normalmente enviada a uma unidade de destilação (retorta), onde o mercúrio é extraído. O mercúrio é então recuperado e pode ser reutilizado. A poeira fosforosa resultante pode ser reciclada e usada, por exemplo na indústria de tintas. O único componente da lâmpada que não é reciclado é o isolamento baquelítico existente nas extremidades da lâmpada.

A fase subsequente neste processo de reciclagem é a recuperação do mercúrio contido na poeira de fósforo (fase de destilação). A recuperação é obtida pelo processo de retortagem, onde o material é aquecido até a vaporização do mercúrio (temperaturas acima do ponto de ebulição do mercúrio - 357o C). O material vaporizado a partir deste processo é condensado e coletado em coletores especiais ou decantadores. O mercúrio assim obtido pode requerer tratamento adicional, tal como borbulhamento em ácido nítrico para remover impurezas. Emissões fugitivas durante este processo podem ser evitadas usando-se um sistema de operação sob pressão negativa.

Este é o processo desenvolvido ainda na década de 70, pela Mercury Recovery Technology – MRT, estabelecida em Karlskrona - Suécia. Um fluxograma do processo da MRT encontra-se na figura 5.

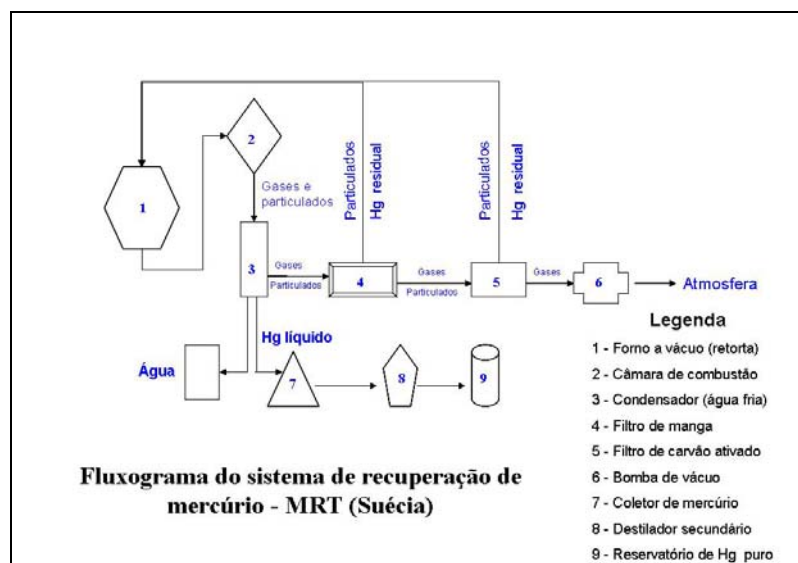


Figura 11 – Fluxograma do sistema de recuperação de mercúrio da MRT

O principal impacto ambiental deste processo provém do processo a seco – devem ser tomados cuidados para não haver emissões fugitivas de mercúrio.

O custo operacional do processo térmico é ainda elevado em decorrência da estrita dependência de importação de equipamentos. Para a sua auto-sustentação, a atividade necessita ser alavancada pelo tratamento de outros tipos de resíduos de mercúrio. A técnica de termodessorção revelou que as maiores concentrações de mercúrio na matriz de pó de fósforo de lâmpadas fluorescentes usadas/queimadas (material potencialmente perigoso e poluente) estão associadas às condições onde prevalecem formas oxidadas (Hg1+ e Hg2+). As temperaturas de dessorção do mercúrio contido na matriz do pó de fósforo e no vidro podem alcançar 450 0C e 800-850 0C, respectivamente. Essas temperaturas devem ser levadas em consideração por ocasião do tratamento térmico.

Ainda assim, o processo térmico, desde que devidamente controlado, é a melhor alternativa existente no momento. Promove a recuperação do mercúrio, a reciclagem dos constituintes das lâmpadas e não gera resíduos perigosos que seriam destinados a aterros. Tal geração de resíduos ocorre nas demais alternativas.

### 4.3. Moagem com Tratamento Químico

O processo químico, assim como o térmico, pode ser dividido em duas etapas – fase de esmagamento e fase de contenção do mercúrio. A fase de esmagamento difere do tratamento térmico, porém, por ser realizada com lavagem do vidro. Assim, a quebra das lâmpadas ocorre sob uma cortina de água, evitando que o vapor de mercúrio escape para a atmosfera. A mistura de vidro e partes metálicas é então lavada, separando-se vidro e metais para reciclagem.

O líquido de lavagem contendo o mercúrio e o pó de fósforo é então filtrado ou precipitado, separando-se o pó de fósforo. O líquido já filtrado/separado passa então por um tratamento químico com  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  ou  $\text{NaHSO}_3$ ; o mercúrio é transformado em  $\text{HgS}$  (precipitado), um composto sólido insolúvel em água. Após o tratamento, uma nova filtragem separa o mercúrio precipitado como  $\text{HgS}$  da água. A água pode ser reutilizada no processo.

Tanto o pó de fósforo quanto o mercúrio precipitado podem ser tratados por destilação, recuperando-se o mercúrio metálico que é encaminhado para reciclagem. Algumas empresas, porém, encaminham ambos os materiais para aterros.

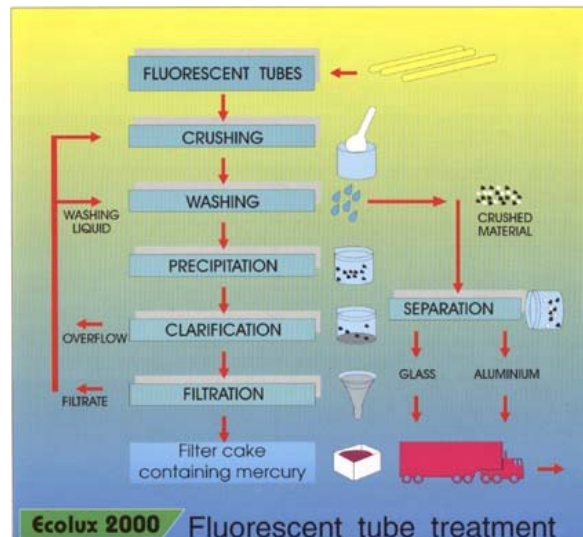


Figura 12: Processo Químico Ecolux 2000

Um fator adicional a ser comentado é que, no processo químico, existe a utilização de água – um bem natural que tem se tornado mais e mais escasso ao longo das décadas. É importante que tais processos promovam a contínua reciclagem interna das águas de lavagem, para minimizar possíveis impactos ambientais.

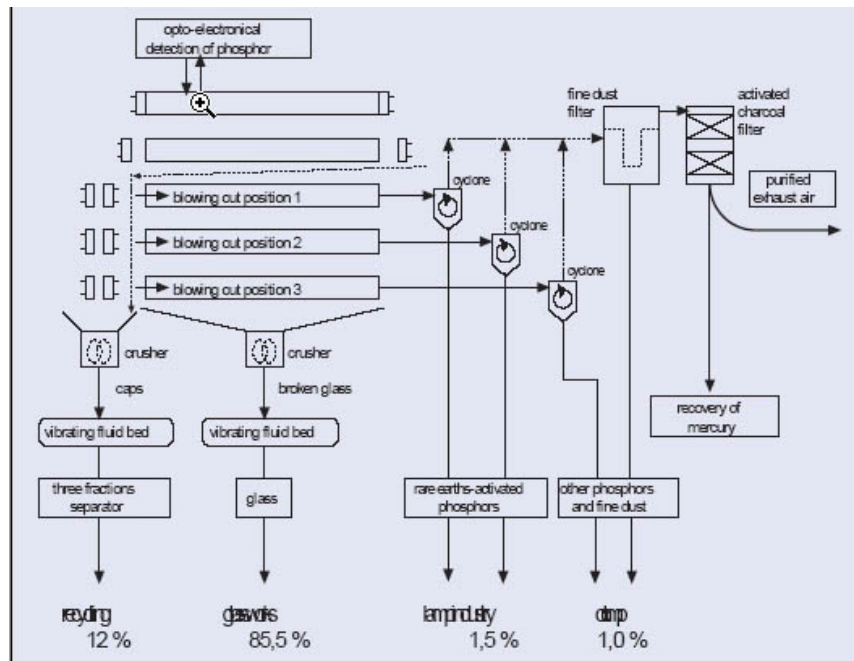
#### 4.5. Tratamento por sopro

O processo de tratamento por sopro surgiu como uma alternativa para a reciclagem do vidro. Este processo, utilizado exclusivamente para tratamento de lâmpadas fluorescentes tubulares, visa manter a integridade do tubo de vidro, encaminhando-o ainda na forma tubular para a reciclagem.

Neste processo, as duas extremidades contendo os soquetes de alumínio são quebradas, através de um sistema de aquecimento e resfriamento. Em seguida, o tubo de vidro já sem os soquetes recebe um sopro de ar em seu interior, arrastando-se assim o pó de fósforo contendo mercúrio de seu interior. O pó removido pelo sopro passa por um sistema de ciclones, e a corrente de ar passa em seguida por um sistema de filtros de carvão ativado.

Algumas empresas fazem a moagem do vidro mesmo após a separação do mercúrio, utilizando a tecnologia por sopro em função da menor possibilidade de contaminação do vidro por partes metálicas dos soquetes – aumentando, assim, o valor do vidro para a reciclagem.

Uma vez mais, o sistema por sopro não faz a remoção de todo o mercúrio da lâmpada, apenas evita que o mercúrio que se encontra na forma gasosa escape para o meio ambiente. A menos que a instituição possua uma unidade de tratamento térmico, todo o mercúrio recuperado nos filtros acabará disposto em aterro junto com os respectivos filtros.



#### 4.6 – Solidificação/Encapsulamento

Uma vez mais, o processo de solidificação possui etapas similares aos processos de tratamento químico e tratamento térmico. Há uma fase de esmagamento, no qual a lâmpada pode ser quebrada por via seca ou úmida. Os materiais resultantes, porém, são encapsulados em concreto e/ou ligantes orgânicos, e então destinados a aterros.

Os impactos associados são similares aos da disposição convencional em aterro. Não há estudos que o encapsulamento em concreto seja suficiente para a contenção do mercúrio no aterro. Além disso, o encapsulamento do vidro, do alumínio e do mercúrio é contrária a filosofia do desenvolvimento sustentável, que busca justamente minimizar a extração de matérias-primas do meio ambiente.

#### 4.7 – Lâmpadas de Bulbo – Separação Pré-Tratamento

No caso específico das lâmpadas de bulbo contendo mercúrio (vapor de mercúrio, vapor de sódio, Luz Mista, Vapor Metálico), sua constituição física não permite que, num primeiro momento, os processos permitam a recuperação do mercúrio. Isso ocorre porque existem duas seções distintas na nestas lâmpadas, uma contendo mercúrio, outra completamente isenta de mercúrio.

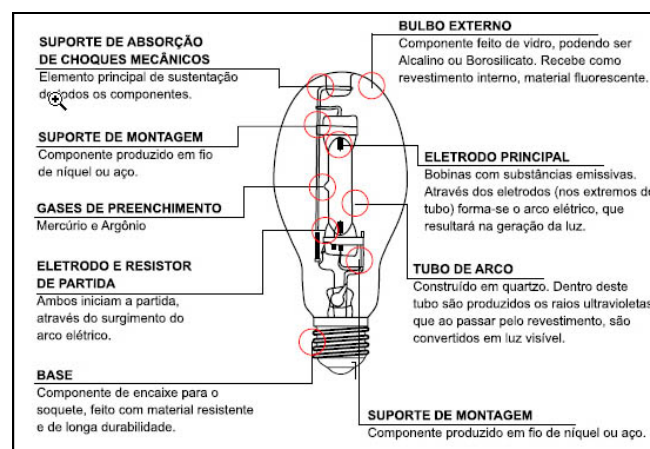


Figura 14: construção física de uma lâmpada de bulbo

Nota-se, na figura acima, que todo o mercúrio utilizado para a descarga elétrica que faz a lâmpada funcionar encontra-se no interior do "tubo de arco". Para ser possível a recuperação do mercúrio, seja

pelo processo térmico, seja pelo processo úmido, este tubo de arco deve ser separado dos demais componentes da lâmpada. A figura abaixo apresenta um fluxograma usual de separação do tubo de arco.

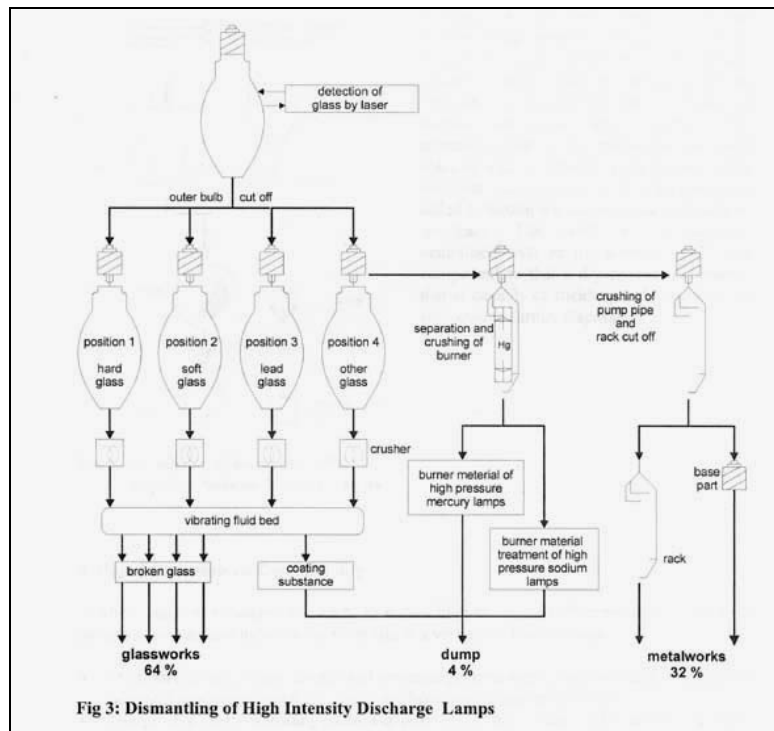


Figura 15: Desmanche de lâmpadas de bulbo

Uma vez separado, o tubo de arco pode ser processado em qualquer dos processos descritos anteriormente.

#### 4.8 – Reciclagem de Lâmpadas Incandescentes

Não foram identificadas, a nível nacional ou internacional, instituições que realizem a reciclagem de lâmpadas incandescentes. Isso ocorre por dois motivos. Em primeiro lugar, lâmpadas incandescentes não possuem substâncias potencialmente agressivas ao meio ambiente. Por este motivo, órgãos de controle ambiental ainda não as incluíram em programas de reciclagem a serem impostos a instituições ou divulgados para a população.

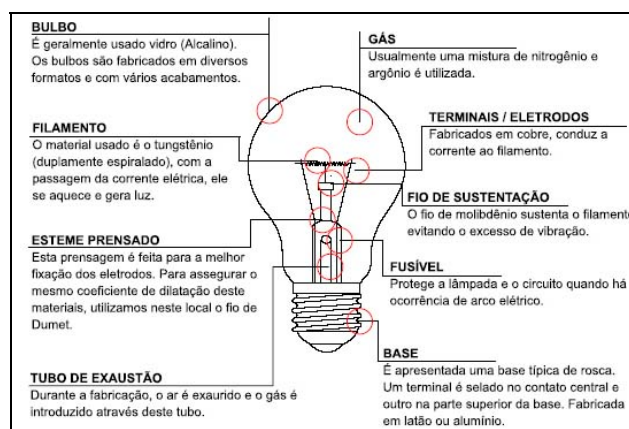


Figura 16: construção física de uma lâmpada incandescente

O segundo motivo é de fundo econômico. Nenhum processo de tratamento de lâmpadas é economicamente sustentável apenas pela venda dos materiais delas recuperados. Nenhuma instituição no mundo realiza tal tratamento gratuitamente. Além disso, as lâmpadas incandescentes são de uso predominantemente doméstico, e o envio para a reciclagem envolve a participação de órgãos públicos, que preferem não gastar recursos do município em um resíduo que não é perigoso.

Porém, como já afirmamos anteriormente, a disposição no aterro do vidro, do alumínio e do mercúrio é contrária a filosofia do desenvolvimento sustentável, que busca justamente minimizar a extração de matérias-primas do meio ambiente. Com o empenho de órgãos públicos, a reciclagem de lâmpadas incandescentes poderia ser realizada, através do processo de moagem simples com separação dos componentes.

## **5. Tratamento de Lâmpadas no Brasil**

Até 1993, não existiam alternativa para tratamento de lâmpadas no Brasil. Até então, a totalidade das lâmpadas era descartada juntamente ao lixo comum, normalmente sendo direcionadas a aterros sanitários inadequados. Não existem estudos sobre o impacto causado até hoje por esta destinação inadequada lâmpadas com o lixo comum.

A partir de 1993, surgiram várias empresas no mercado se propondo a fazer o tratamento das lâmpadas. Foram identificadas 3 principais instituições, as quais serão estudadas a seguir.

### **5.1. Apliquim**

Fundada em 1985, a APLIQUIM foi a primeira empresa do Brasil a realizar tratamento de resíduos contendo mercúrio. Suas atividades iniciais envolveram a recuperação de mercúrio a partir de resíduos da fabricação de cloro-soda, termômetros, pesticidas agrícolas a base de mercúrio, resíduos da fabricação de lâmpadas. Em 1993, passou a realizar o tratamento de lâmpadas contendo mercúrio, tornando-se a primeira instituição no hemisfério sul a desenvolver tal atividade.

Como reconhecimento por suas atividades e no domínio da proteção ambiental a APLIQUIM foi selecionada pela CEPAL – Comissão Econômica das Nações Unidas para a América Latina e o Caribe – como uma das empresas líderes no desenvolvimento e difusão de tecnologias ambientais na América Latina.

Outros reconhecimentos por seu trabalho pioneiro em prol do meio ambiente incluem:

- I Prêmio Nacional de Conservação Ambiental e Desenvolvimento da Gazeta Mercantil, em 1992;
- Prêmio ECO 94 de preservação Ambiental, da Câmara Americana de Comércio;
- Prêmio de melhor Desempenho de 1997, da FIAT Automóveis SA;
- Prêmio de Saúde, Segurança e Meio Ambiente de 1999, da Petrobrás – Bacia dos Campos;
- Prêmio von Martius 2000, da Câmara Brasil – Alemanha de Comércio e Indústria e, no plano internacional;
- Prêmio Thomas Kuhn Hope for the future for Sustainability 2001, conferido pela International Academy of Science e pela IUAPPA – União Internacional das Associações de Prevenção da Poluição do Ar e Proteção Ambiental.

A Apliquim é licenciada pela CETESB e credenciada pelo IBAMA para processar resíduos mercuriais, tendo entre seus clientes mais de 1.200 instituições de todo Brasil.

A Apliquim utiliza dois sistemas de tratamento. Para lâmpadas fluorescentes tubulares, circulares e lâmpadas de bulbo (vapor de mercúrio, vapor de sódio, Luz Mista, Vapor Metálico), emprega o tradicional método de moagem com tratamento térmico. Lâmpadas fluorescentes compactas são tratadas pelo método de moagem simples.

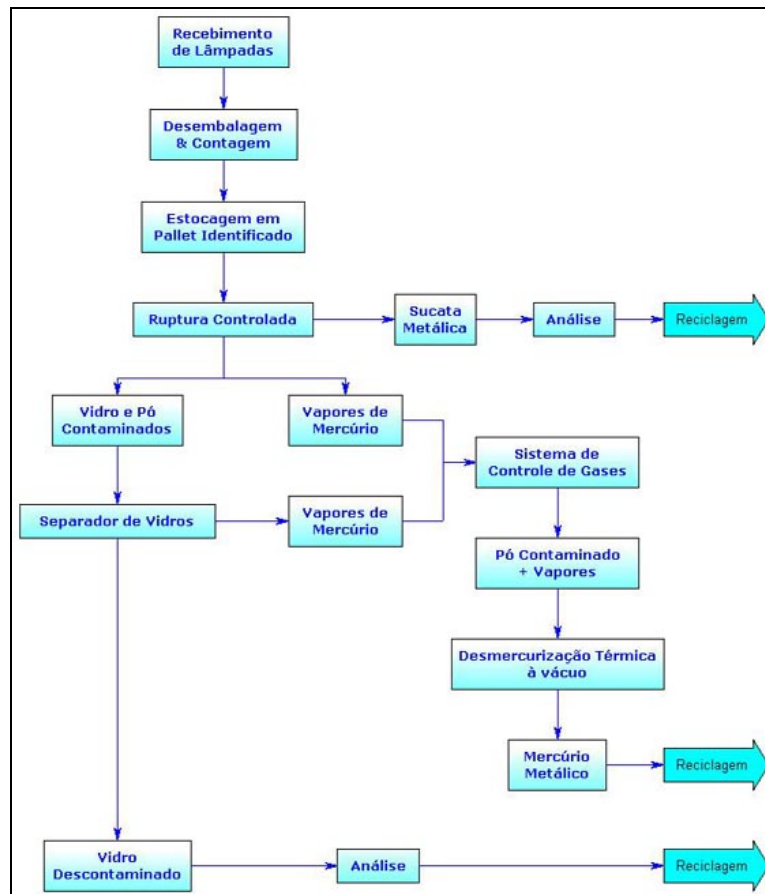


Figura 17: Fluxograma de tratamento de lâmpadas – processo APLIQUIM

No caso das lâmpadas de bulbo, a empresa alegou que o volume recebido ainda é bastante baixo em comparação aos volumes recebidos de lâmpadas fluorescentes (cerca de 7% do total recebido pela APLIQUIM são lâmpadas de bulbo), e por este motivo realiza a separação do tubo de arco manualmente.

O vidro recuperado pela APLIQUIM é encaminhado para fabricação de esmaltes cerâmicos. Metais são encaminhados para recicladores de metais, e o mercúrio comercializado para instituições que o utilizem em seu processo, com devida autorização do IBAMA (órgão que fiscaliza a comercialização do mercúrio no Brasil).

A empresa possui plano de monitoramento ambiental de seu entorno, contemplando solo, águas superficiais, emissões atmosféricas e qualidade do ar no seu entorno. Seu sistema de gestão ambiental foi certificado de acordo com a NBR ISO 14.001, em 2001, mantendo sua validade até 2004. A renovação da certificação do SGA não foi possível em virtude de interdição efetuada nos equipamentos da APLIQUIM, em julho de 2004, situação já plenamente sanada. A empresa informou que sua auditoria de re-certificação está agendada para janeiro de 2005.

A APLIQUIM foi a única empresa identificada que alegou possuir destilador licenciado para a recuperação do mercúrio metálico. A Apliquim é a única empresa que comercializa containeres especiais para o transporte de materiais. Em alguns casos, o container fica no cliente para que a armazenagem seja feita nele próprio, de forma segura.

A capacidade de tratamento da APLIQUIM é de 18.000.000 lâmpadas/ano para tratamento. Seus principais clientes são 3M, Alcan, Alcoa, Bahiasul, Bosch, Daimler Chrysler, Du Pont, Ferteco, Kellogg, Nestle, Petrobrás, Polibrasil, OPP, Ripasa, Sesc, Vicunha, Volkswagen, Volvo, entre outros.

## 5.2. Mega Reciclagem

A Mega Reciclagem iniciou suas atividades em Curitiba em 1998, percebendo a carência do mercado em empresas especializadas na destinação final de lâmpadas de vapores metálicos e na descontaminação do mercúrio e outros metais pesados.

A empresa é voltada exclusivamente ao bloqueio da toxicidade de lâmpadas inservíveis, destruindo-as e gerando subprodutos reutilizáveis em processos de manufatura industrial. Oferece também orientação quanto ao manejo, acondicionamento, estocagem, transporte e legislação aplicável.

O processo consiste, basicamente, na triagem e descontaminação das lâmpadas, que são quebradas por submersão em meio líquido onde reagentes químicos separam os materiais tóxicos do vidro e dos metais (o processo químico já discutido anteriormente). Os subprodutos gerados pelo processo são encaminhados para diversas empresas de diversos segmentos para que possam ser reciclados.



Figura 18: vista do equipamento da MEGA RECICLAGEM

Após o processo de descontaminação o mercúrio é encaminhado para uma empresa especializada na tridistilação do mercúrio que posteriormente comercializa. A Mega possui todas as licenças para comercialização do mercúrio. Contatos realizados com clientes da Mega não disponibilizaram detalhes quanto ao receptor deste resíduo de mercúrio, e não foi identificado no mercado qualquer empresa, além da APLIQUIM, especializada na destilação do mercúrio.

Sua capacidade de tratamento é de 7.000.000 lâmpadas/ano, conforme informações colhidas a partir de algumas empresas identificadas que lhe encaminham lâmpadas. Seus principais clientes são CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais, COPEL - Cia. Paranaense de Energia Elétrica, Electrolux do Brasil S/A, Elektro Eletricidade e Serviços S/A, Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S/A, Ultrafertil S/A, entre outros.

### 5.3. Brasil Recycle

A Brasil Recycle começou a atuar neste mercado em 2000 em consequência da necessidade de vidros para um outro negócio, a Murano – empresa no segmento de produtos para animais de estimação, principalmente bebedores para passarinho. Como tinham a necessidade da matéria-prima vidro, surgiu a idéia de recolher lâmpadas queimadas para retirá-lo. No entanto, as lâmpadas fluorescentes continham mercúrio, não bastando recolhe-las apenas, mas tratá-las também.

Possuem o certificado CRR – Certificado de Recepção e Responsabilidade – reconhecido e autenticado pela FATMA – Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina.

O processo de descontaminação tem início quando as lâmpadas fluorescentes são levadas em pallets para a descontaminação onde existe uma leve pressão negativa para expurgo dos resíduos. O processo é basicamente feito através de sucção (processo por sopro) não gerando efluentes líquidos, evitando com isso a contaminação dos solos e rios.



Figura 19: vista do equipamento da BRASIL RECICLE

Resíduos como alumínio, terminais de contato, polímeros e bulbos são separadamente armazenados e os subprodutos, após o laudo do IPT, são comercializado.

O mercúrio é separado finalmente da corrente de ar através de filtros especiais onde é amalgamado. Para assegurar que o ar despejado na atmosfera esteja livre de uma quantidade de partículas de mercúrio superior à permitida pela leis de meio ambiente, existe em linha um sistema de amostragem comparando os índices medidos com os permitidos. O sistema de controle, em caso da existência de mercúrio em valores superiores ao permitido, realiza um by pass impedindo a saída de gases ao exterior e logo desligando todo o sistema automático de produção. Após a sua retirada, é enviado ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) da Faculdade Universitária Regional de Blumenau para análise e possível reaproveitamento.

Novamente, clientes desta empresa que foram contatados não souberam informar se a Brasil Recicle possui sistema para recuperação do mercúrio (destilador). Sua licença de Operação, disponibilizada em no web site da empresa, apesar de mencionar todos os demais equipamentos, não faz menção a nenhum equipamento de recuperação de mercúrio.

A capacidade de tratamento é de 3.000.000 lâmpadas/ano. Seus principais clientes são Brasil Telecom, Firestone, GE, Petrobras, Sadia, Souza Cruz, Telefonica, Tigre Tubos, Votorantin Cimentos e conexões entre outros.

#### 5.4. Naturalis Brasil

Dentre as suas diversas atividades, a Naturalis Brasil, localizada em Jundiaí - SP atua na busca de alternativas que colaborem para que empresas e instituições ecologicamente consciente possam dar um destino ambientalmente seguro a seus resíduos, e um dos maiores exemplos deste esforço é o seu exclusivo sistema de descarte "in company" de Lâmpadas Fluorescentes, a Operação Papa-Lâmpadas.

Com seu exclusivo sistema de unidades móveis de descarte, a Naturalis Brasil leva o equipamento até a unidade geradora de lâmpadas queimadas, qualquer que seja o porte dessa empresa, escola, órgão público ou instituição, e ali se encarrega de todo o processo de descarte, desde a manipulação das lâmpadas, trituração, até a destinação dos resíduos gerados.

Como o próprio site da instituição afirma, é utilizado o sistema "Bulb Eater" de moagem de lâmpadas, sem separação dos componentes. Deste modo, não nos ficou claro como a empresa efetua a recuperação do mercúrio a partir dos vidros moídos e dos filtros que retiveram os vapores de mercúrio metálico.

É curioso salientar, também, que enquanto todas as outras instituições que realizam tratamento de lâmpadas no Brasil são obrigadas a possuir licenciamento ambiental em seus respectivos estados, a Naturalis possui uma carta de dispensa de licenciamento. Em outras palavras, sendo uma empresa isenta de licenciamento, a mesma não possui acompanhamento e monitoramentos efetuados pelo órgão ambiental do estado.

## 6. Bibliografia

- ABILUX. *Apresentação da ABILUX*. Disponível para download em <http://www.mma.gov.br/conama/processo.cfm?processo=02000.001522/2001-43>
- ABILUX. *Dados Técnicos de Lâmpadas Contendo Mercúrio*. Disponível para download em <http://www.mma.gov.br/conama/processo.cfm?processo=02000.001522/2001-43>
- Air Cycle Ltd. *Recycling Services and Equipments*. Disponível em [www.aircycle.com](http://www.aircycle.com)
- EPA. *Evaluation Of Mercury Emissions From Fluorescent Lamp Crushing*: February 1994.
- EPA. *Survey And Initial Evaluation of Small On-Site Fluorescent Lamp Crushers*. April, 2001.
- Florida Department of Environmental Protection. *Managing Spent Fluorescent and High Intensity Discharge (HID) Lamps*.
- FUNASA. *“Lâmpadas Fluorescentes e os Riscos À Saúde”*. Disponível para download em <http://www.mma.gov.br/conama/processo.cfm?processo=02000.001522/2001-43>
- <http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica7/funciona/fluorescente.htm>
- <http://www.apliquim.com.br>
- <http://www.brasilrecicle.com.br>
- <http://www.ekoteho.fi/ecoluxe.htm>
- <http://www.megareciclagem.com.br>
- <http://www.mrtsystem.com/home/>
- <http://www.naturalisbrasil.com.br/>
- <http://www.netresiduos.com/cir/rinds/lampadas.htm>
- <http://www.sylvania.com.br>
- <http://www.werec.com>
- Lund, Herbert F (editor). *The McGraw-Hill recycling Handbook*.
- Miller, Andréa; Berg, Michael. *A Comprehensive Look at Fluorescent Lamp Disposal*.
- NEMA - National Electrical Manufacturers Association. *Environmental Impact Analysis: Spent Mercury-Containing Lamps - A Summary Of Current Studies: January, 2000*. Disponível para download em <http://www.nema.org/papers/enviimpact.doc>
- Raposo C., Roeser H.M. 2000. *Contaminação ambiental provocada pelo descarte de lâmpadas de mercúrio*. Revista Escola de Minas de Ouro Preto (REM). ano 64, 53: 1, 61-67. Disponível para download em <http://www.mma.gov.br/conama/processo.cfm?processo=02000.001522/2001-43>
- Raposo, Cláudio (Coord.). *Caracterização Química dos Principais Constituintes de Lâmpadas de Mercúrio com vistas ao controle ambiental*. Disponível para download em <http://www.mma.gov.br/conama/processo.cfm?processo=02000.001522/2001-43>
- Raposo, Cláudio. *Contaminação Ambiental Provocada Pelo Descarte Não-Controlado de Lâmpadas de Mercúrio no Brasil*. Disponível para download em <http://www.mma.gov.br/conama/processo.cfm?processo=02000.001522/2001-43>

- Raposo, Cláudio. *Dados Técnicos - Resíduos de Lâmpadas Contendo Mercúrio*. Disponível para download em <http://www.mma.gov.br/conama/processo.cfm?processo=02000.001522/2001-43>
- Wiens, Carlos Henrique. *Gestão de Resíduos Tóxicos: O Caso das Lâmpadas Fluorescentes Descartadas em Quatro Empresas do Setor Automotivo da Região Metropolitana de Curitiba-Pr*. Dissertação de Mestrado.
- Yamachita, Roberto A.; Gama, Paulo Henrique R. P.; Haddad, Jamil; Guardia, Eduardo C. *Incentivos Para a Reciclagem de Lâmpadas Visando a Conservação do Meio Ambiente*. Trabalho apresentado no XV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica.