

DESENVOLVIMENTO DE NOVA ROTA PARA A RECICLAGEM DE LÂMPADAS FLUORESCENTES¹

Araceli Munaier Guedes de Almeida²
 Maria Clara Lessa Belone²

Resumo

O consumo de lâmpadas fluorescentes popularizou-se nos últimos anos, devido à sua longa durabilidade e economia no consumo de energia, quando comparadas às tradicionais lâmpadas incandescentes. Porém, esse tipo de produto depende do mercúrio para funcionar de forma apropriada e como este é um metal tóxico para os seres humanos e para o meio ambiente é necessário um controle rígido do descarte das lâmpadas fluorescentes. Existem diversas técnicas de reciclagem, mas a maioria destina-se apenas aos grandes consumidores industriais, que podem arcar com os custos de tal processo. Tendo em vista esse quadro, este projeto buscou criar uma nova rota de via úmida para reciclagem de lâmpadas fluorescentes que utiliza a hidroxiapatita como absorvedor de mercúrio, com o desenvolvimento de um protótipo que seja de baixo custo e que possa atender comunidades e empresas de pequeno e médio porte. O material utilizado nas análises iniciais foi recolhido no próprio CEFET-MG. Foram apresentadas as conclusões iniciais bem como os resultados obtidos através de espectrometria por fluorescência de raios-X após a moagem do primeiro lote de lâmpadas, o esboço do protótipo que se pretende construir e aspectos relevantes que se referem ao ciclo de vida do mercúrio e das lâmpadas.

Palavras-chave: Lâmpadas fluorescentes; Reciclagem; Mercúrio; Hidroxiapatita.

DEVELOPMENT OF NEW ROUTE TO THE FLUORESCENT LAMPS RECYCLING

Abstract

In the last years, the use of fluorescent lamps spread due to their durability and energy consumption compared to incandescent lamps. However, this product depends on mercury to work properly and how this is a toxic metal for humans and environment it is necessary a rigid control to discard fluorescent lamps. Many recycling techniques are available, but most of them are applicable only for big industry consumers, which can pay for the high cost of this process. Considering this fact, the project aimed to find a new fluorescent lamps recycling route by wet way using hydroxyapatite as mercury absorbent, developing a low cost prototype which will be useful for small and medium communities and companies. The materials used in initial analysis were collected at CEFET-MG. The first conclusions and the results obtained with x ray fluorescent spectrometry after the grid of first lamps, the prototype sketch we want to build and the relevant aspects about the mercury and lamps life cycle were present.

Key words: Fluorescent lamps; Recycling; Mercury; Hydroxyapatite.

¹ Contribuição técnica ao 68^o Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Graduando em Engenharia de Materiais, CEFET, Belo Horizonte, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Em todos os meios da sociedade, grande parte das lâmpadas utilizadas atualmente são as fluorescentes, devido à maior durabilidade e menor consumo de energia se comparadas com as lâmpadas incandescentes. Dessa forma, como a demanda e o consumo deste produto aumentaram, aumentou também o número de peças inutilizadas. A partir disto, o descarte inapropriado em aterros, por exemplo, se tornou cada vez mais evidente e também mais perigoso e danoso ao meio ambiente e ao próprio homem por nelas estar presente o mercúrio. Segundo a EPA americana, as lâmpadas são consideradas como a segunda maior fonte de mercúrio em resíduos sólidos urbanos depois da pilha.⁽¹⁾

Dentre os constituintes da lâmpada fluorescente, o mercúrio é considerado o elemento potencialmente mais perigoso, encontrando-se em um estado e composição bastante volátil nas condições normais de temperatura e pressão. De acordo com o ELC, o mercúrio é a única substância da lâmpada de relevância ecológica que representa elevado risco ambiental, contaminando o solo e, mais tarde, os cursos d'água.⁽¹⁾

De acordo com o CONAMA, no último século os níveis de mercúrio no ambiente global triplicaram e, como consequência, tem aumentados exponencialmente o risco de exposição perigosa das pessoas.⁽²⁾

A carga equivalente a menos de uma colher de sopa de mercúrio depositada em um lago de 20 acres é suficiente para contaminar os peixes deste lago a ponto de tornar seu consumo impróprio. O mercúrio se concentra no tecido dos peixes e se torna potencialmente perigoso ao resto da cadeia alimentar, que inclui o homem.⁽²⁾

O mercúrio, devido a sua toxicologia, pode causar alterações fisiológicas e metabólicas.

Os vapores do mercúrio elementar, se inalados, podem facilmente atravessar a membrana alveolar, atingir a circulação sanguínea e, posteriormente, atravessar facilmente as membranas biológicas de células, especialmente a barreira hematoencefálica, acumulando-se no cérebro. Por ser lipossolúvel, o mercúrio elementar se acumula nos tecidos com maior quantidade de gorduras, onde será oxidado. Além disso, o sistema cardiovascular também pode ser afetado, manifestando taquicardia, aumento da pressão sanguínea e palpitações cardíacas.⁽³⁾

Já o mercúrio na forma iônica, distribuí-se pelo corpo através do sangue e tende a se acumular principalmente nos rins do indivíduo contaminado.⁽³⁾

Considerando-se, então, os riscos que a disposição inadequada das lâmpadas fluorescentes e a exposição do ser humano podem causar, o projeto foi desenvolvido pensando-se em meios para reciclar esse produto e, assim, extrair ao máximo o mercúrio presente nele e com isso enquadrar os níveis de mercúrio na legislação ambiental existente.

1.1 Ciclo Biogeoquímico do Mercúrio

A forma mais simples é o mercúrio elementar e por ser um elemento químico estável, ele não pode ser degradado em outras substâncias menos tóxicas.

Em seu ciclo, o mercúrio pode transitar por diferentes estados de oxidação e espécies. Quando o mercúrio é levado para a biosfera, tanto pela atividade humana ou natural, ele permanece circulando entre a superfície terrestre e a atmosfera, os solos, os corpos d'água e os sedimentos são os reservatórios primários do mercúrio.

O ciclo natural do mercúrio é resultante de vários processos físicos, químicos e bioquímicos.⁽⁴⁾ Este ciclo, por sua vez, ocorre repetidas vezes e apresenta longa duração devido ao fato do mercúrio apresentar várias formas, orgânicas ou inorgânicas, voláteis.

Diferentemente de outros metais que são normalmente encontrados na atmosfera, o mercúrio elementar é facilmente reemitido para o ar uma vez depositado na superfície terrestre. Outra diferença evidente é que o mercúrio existe na atmosfera predominantemente na fase de vapor ao contrário de outros metais que estão principalmente associados a material particulado (aerossóis). Ele também pode existir no estado de oxidação 2+, porém o estado 1+ é dificilmente encontrado.

O tempo de residência do mercúrio elementar na atmosfera é da ordem de um ano, pois ele, na fase de vapor, é um elemento relativamente inerte ao ataque de outros constituintes do ar e é praticamente insolúvel em água. Outros metais têm o tempo de residência na ordem de dias ou semanas.

Na atmosfera, o mercúrio elementar se oxida, dando origem a compostos menos voláteis que o mercúrio metálico e mais solúveis em água. Dessa forma essas substâncias oriundas da oxidação se depositam por via seca ou úmida sobre a vegetação, solos e água, com taxa de deposição maior que o mercúrio elementar. No solo, o mercúrio tem maior tempo de retenção fazendo com que o metal acumulado no solo possa continuar sendo liberado para outros meios por um período muito longo.

A maior parte do mercúrio depositado está na forma de Hg^{2+} e essa espécie tende a permanecer não volátil e relativamente imóvel a menos que ocorra uma redução química, fotolítica ou biológica a Hg e dimetilmercúrio ou transformação em metilmercúrio principalmente em sistemas aquáticos.

No meio aquático, a transformação do mercúrio que mais se destaca, do ponto de vista ambiental, é a formação de metilmercúrio, que é a forma mais tóxica e biodisponível do elemento. O metilmercúrio tem menor afinidade com as superfícies minerais dos sedimentos do que o íon Hg^{2+} e, por isso, ele entra com maior facilidade na cadeia alimentar, a sua proporção nos tecidos dos organismos aumenta quando se ascende nos níveis tróficos. A concentração dessa substância depende diretamente de sua taxa de formação que, por sua vez, pode ser influenciada pela concentração de mercúrio iônico bivalente disponível no meio e pela atividade microbiológica do ambiente.

A concentração do metal nos peixes é pouco afetada pela adição direta de mercúrio metálico na água, pois é o mercúrio iônico a principal fonte desse elemento no processo de metilação. Outra característica para o baixo poder de contaminação dos peixes por mercúrio elementar é a reatividade praticamente nula dessa substância, impossibilitando que posteriormente ocorra uma notável oxidação.

1.2 Legislação Ambiental Sobre Descarte de Lâmpadas de Mercúrio

1.2.1 No Brasil

No Brasil, praticamente todo o resíduo de lâmpada é descartado diretamente no lixo. Apenas uma pequena parcela deste resíduo é tratada através da reciclagem, normalmente feita por grandes empresas.^(2,5)

Por meio da Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) estabelece condições, parâmetros, padrões e diretrizes para a gestão do lançamento de efluentes.

De acordo com esta resolução, os efluentes gerados em qualquer fonte poluidora somente poderão ser descartados após o devido tratamento e desde que obedçam às exigências apresentadas na Resolução e em outras normas ambientais.

De acordo com a Diretoria de Qualidade Ambiental na Indústria, até o momento não existe regulamentação brasileira específica para o setor de lâmpadas fluorescentes. Dessa forma, como inexistente uma legislação ou norma específica bem como diretrizes dos sistema de coleta e tratamento dos efluentes que contêm mercúrio, o seu lançamento no meio ambiente deve obedecer o disposto na Resolução nº430.

Com base na Resolução nº430, a carga de poluente que o corpo hídrico pode receber não pode comprometer a qualidade da água e também não pode causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos. Além disso, os efluentes só poderão ser descartados desde que obedçam a condições e padrões como, por exemplo, pH entre 5 e 9 e temperatura inferior a 40°C. O valor máximo de mercúrio total que pode estar presente em um recurso hídrico é de 0,01 mg/L.

A Moção CONAMA nº85 de 27 de junho de 2007 propõe ao Ministério do Meio Ambiente a criação e implementação de uma política nacional de mercúrio. A sugestão proposta seria reduzir a quantidade de mercúrio por lâmpada conforme a legislação da União Europeia sendo que o limite seria de até 10 mg/L (atualmente esse teor varia entre 10 e 20 mg). Outro ponto abordado é a retomada do Grupo de Trabalho de Lâmpadas Fluorescentes para que um marco legal para o gerenciamento ambiental da cadeia de produção, consumo e destinação das lâmpadas fluorescentes seja implantado.

1.2.2 Nos Estados Unidos

Neste país é dada uma atenção especial aos resíduos mercuriais, o que propicia a existência de regulamentação em diversas áreas de aplicação, causando um declínio do uso do mercúrio.⁽⁶⁾

As lâmpadas de mercúrio são consideradas resíduos perigosos, pois muitas delas contêm quantidades de mercúrio suficientes para não passarem nos testes TCLP (limite regulatório de 0,2 mg/L, de acordo com o Documento 40 CFR, parte 261.24)

A disposição de resíduos de mercúrio é regida pelos estatutos da Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) – Documento 40 CFR (Lei Federal). Os regulamentos da RCRA descrevem que os resíduos contendo mercúrio, incluindo resíduos aquosos e não aquosos, estão sujeitos a restrições para disposição em aterros, somente aterros destinados a resíduos sólidos aprovados pela Usepa (US Environmental Protection Agency) podem receber tais resíduos. Outra condição é que o destino das lâmpadas inutilizadas é restrito às instalações de reciclagem licenciadas, aprovadas e registradas pelo respectivo estado norte-americano.

As regulamentações também levam em consideração e têm influência na disposição dos produtos e nas opções de reciclagem para produtos que contêm mercúrio. Além do mais, os produtos descartados estão sujeitos a regras em definidas no que concerne a armazenagem e transporte.

1.2.3 Na Europa

Em todos os países listados na tabela abaixo existe uma conscientização ambiental clara e bem difundida a respeito dos impactos que o descarte inapropriado de lâmpadas de mercúrio pode causar. Existe também uma legislação ambiental própria sobre o manuseio de mercúrio na maioria dos países.⁽⁶⁾

Tabela 1. Situação dos países europeus no que se refere ao descarte das lâmpadas fluorescentes⁽⁶⁾

País	Consciência ambiental	Legislação ambiental	Legislação quanto ao manuseio	Reciclagem	Responsabilidade por conta do fabricante poluidor
Alemanha	✓	✓	✓	✓	✓
Áustria	✓	✓	✓ *	✓ *	✓ *
Bélgica	✓	✓	✓	✓	✓
Bulgária	✓	✓			
Dinamarca	✓	✓	✓	✓ *	✓
Espanha	✓	✓	✓	✓	Poluidor pagador
Finlândia	✓	✓	✓ *	✓	Poluidor pagador
França	✓	✓	✓		✓ *
Grécia	✓				
Holanda	✓	✓	✓	✓	✓
Hungria	✓	✓	✓	✓	✓ *
Irlanda	✓	✓	✓ *		✓ *
Itália	✓	✓	✓	✓	✓ *
Lituânia	✓	✓	✓		✓
Noruega	✓	✓	✓	✓	✓
Polónia	✓	✓		✓ *	
Portugal	✓	✓	✓		✓
República Tcheca	✓	✓	✓	✓	✓
Romênia	✓	✓	✓		✓ *
Reino Unido	✓	✓	✓ *		✓ *
Suécia	✓	✓	✓	✓	✓ *
Suíça	✓	✓	✓	✓	Poluidor pagador

* em estudo ou implementação

Em muitos países europeus, o ônus da reciclagem recai sobre os fabricantes, a cada nova lâmpada vendida, eles são obrigados a receber uma de volta. A coleta e o transporte das lâmpadas usadas e intactas são feitos através da distribuição reversa em que o consumidor devolve a lâmpada no mesmo local em que ela foi comprada, o vendedor a devolve ao distribuidor e assim por diante até que se chegue ao fabricante. Para que este processo obtenha sucesso o país deve ter uma consciência ambiental bem consolidada.

1.3 Hidroxiapatita

1.3.1 Definição e estrutura

A hidroxiapatita (HAp) é um fosfato de cálcio amplamente estudado para aplicações tecnológicas na área da saúde. Ela é o constituinte mineral natural presente no osso representando de 30% a 70% da massa dos ossos e dentes. A hidroxiapatita sintética possui propriedades de biocompatibilidade e osteointegração.⁽⁷⁾

A hidroxiapatita também apresenta grande capacidade de absorver e/ou adsorver moléculas.

Raramente ela ocorre na natureza e sua estrutura é semelhante a de fluorapatita, com a diferença que o grupo OH⁻ ocupa os sítios do F⁻. Sua fórmula estequiométrica é Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂ e ela é o fosfato de cálcio mais estável e menos solúvel de todos.⁽⁷⁾

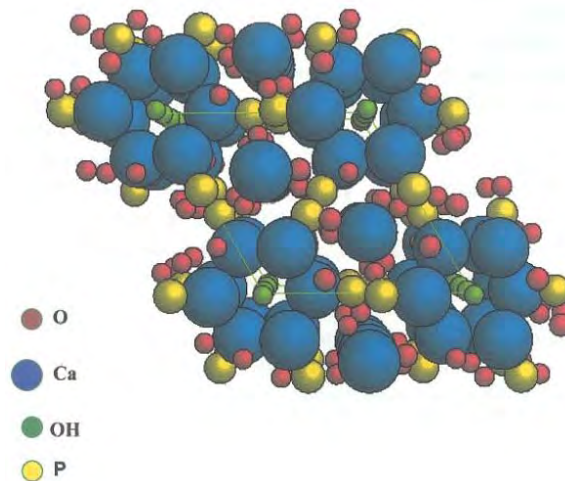
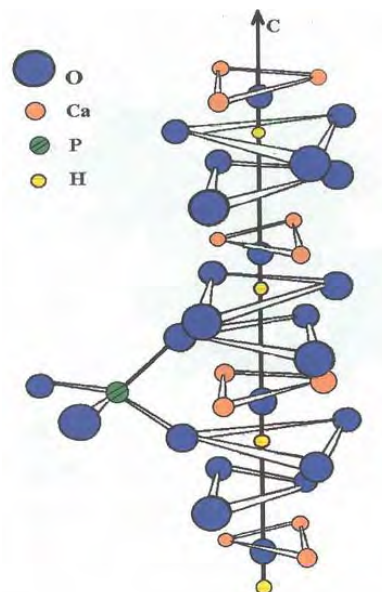


Figura 1. Representação da molécula de hidroxiapatita.⁽⁷⁾

A célula unitária hexagonal da hidroxiapatita contém 10 íons cálcio localizados em sítios não equivalentes, quatro no sítio I (Ca_1) e seis no sítio II (Ca_2). Os íons cálcio no sítio I estão alinhados em colunas, enquanto os íons cálcio do sítio II estão em triângulos equiláteros perpendiculares à direção c da estrutura. Os cátions do sítio I estão coordenados a 6 átomos de oxigênio pertencentes a diferentes tetraedros de PO_4 e também a 3 outros átomos de oxigênio relativamente distantes.⁽⁸⁾

Os átomos de cálcio e fósforo formam um arranjo hexagonal no plano perpendicular ao eixo cristalino de mais alta simetria, eixo c . Colunas constituídas pelo empilhamento de triângulos equiláteros de íons óxidos (O^{2-}) e de íons cálcio (Ca^{2+}) estão ligados entre si por íons fosfato. Os átomos de oxigênio dos íons hidroxila estão situados a 0,9 Å abaixo do plano formado pelos triângulos de cálcio. Dos quatro átomos de oxigênio que constituem os grupos fosfatos, dois estão situados em planos perpendiculares à direção c e os outros dois são paralelos a esta direção.⁽⁸⁾



Fonte: MAVROPOULOS, E. *A hidroxiapatita como removedora de chumbo*. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 1999

Figura 2. Eixo c .

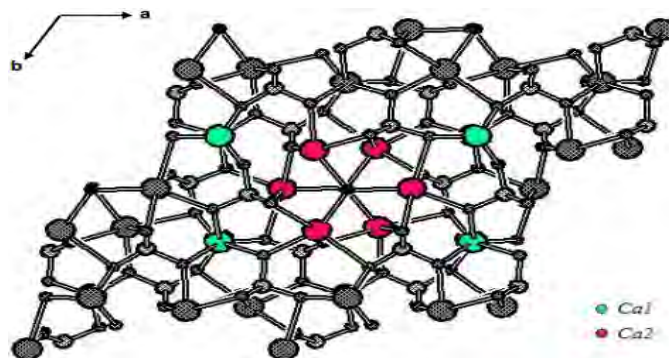


Figura 3. Disposição dos átomos de cálcio na estrutura da hidroxiapatita.⁽⁸⁾

1.3.2 Obtenção

As propriedades da hidroxiapatita e a reatividade de sua superfície são bastante dependentes das condições de síntese utilizada, uma vez que essas condições determinam sua composição e microestrutura.

Um dos métodos mais utilizados para a obtenção da hidroxiapatita é a técnica de precipitação que envolve reações via úmida entre precursores de cálcio e fósforo com controle de temperatura e pH. O pó que se precipita é calcinado, ou seja, as substâncias da amostra são oxidadas usando o calor (temperaturas entre 400° e 600° ou até mais elevadas), a fim de obter uma estrutura apatita estequiométrica. O controle das condições de precipitação é imprescindível, uma vez que uma precipitação rápida pode levar a falta de homogeneidade química do produto final.⁽⁷⁾

Recentemente, tem-se pesquisado a utilização do processo sol-gel para a síntese de HAp. O processo consiste em um método químico via úmida que dispensa a utilização de temperaturas elevadas. É um método eletivo para a preparação de um pó altamente puro devido à possibilidade de um controle cuidadoso dos parâmetros do processo.

1.3.3 Capacidade de remoção de metais pesados

A hidroxiapatita apresenta alta capacidade de remover metais pesados de águas e solos contaminados.

A sua estrutura permite substituições aniônicas e catiônicas isomorfas (substâncias diferentes que cristalizam no mesmo sistema e com a mesma disposição e orientação dos átomos originais da estrutura) com grande facilidade. Por ser aberta e hospedeira ela permite a substituição de todos os seus íons, Ca^{2+} , PO_4^{3-} e OH^- , mantendo a eletroneutralidade. O Ca^{2+} , por exemplo, pode ser substituído por metais tais como Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Sr^{2+} , Co^{2+} dentre outros.⁽⁷⁾

A remoção de metais pesados, dessa forma, é feita através de trocas catiônicas. Este processo está fortemente relacionado com o raio do íon metálico e a sua eletronegatividade. Os íons que apresentam raios iônicos na faixa de 0,9 a 1,3 Å podem mais facilmente substituir os Ca_2 na estrutura da hidroxiapatita, isso ocorrerá com mais dificuldade com os íons que apresentam raio iônico menor que 0,9 Å. Além do mais, íons mais eletronegativos são mais facilmente removidos pela HAp.⁽⁹⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa tem caráter tecnológico, buscando desenvolver processos e operações unitárias aplicáveis na reciclagem de lâmpadas fluorescentes.

A ideia de se quebrar lâmpadas em meio aquoso, para evitar a contaminação do ar com vapor de mercúrio já havia sido proposta antes em outros trabalhos,⁽¹⁰⁾

entretanto, sugerimos a retirada do mercúrio da água com hidroxiapatita ou fosfato de cálcio amorfo (rejeito obtido na fabricação da hidroxiapatita).

Os materiais utilizados no teste piloto do projeto foram:

- 10 lâmpadas tubulares;
- água destilada;
- bombona de plástico;
- hélice de aço em formato de T invertido, acoplada à furadeira;
- peneiras de 4 mesh, 14 mesh e 200 mesh;
- hidroxiapatita na forma de pó; e
- solução de fosfato amorfo de cálcio.

A metodologia pode ser resumida nas seguintes etapas:

- coleta e classificação de lâmpadas: o primeiro lote submetido à quebra era constituído por dez lâmpadas do tipo tubulares, sendo seis delas da marca Philips, duas da NKS e duas da OSRAN. Apenas as lâmpadas da OSRAN possuíam potência de 40 W, sendo as restantes de 32 W. As massas de cada lâmpada variaram entre 0,162 Kg e 0,288 Kg, sendo o peso total do lote 1,856 Kg;
- quebra das lâmpadas, enquanto imersas em água destilada: como a proposta do projeto é fazer a quebra por via úmida, foram utilizados 5 L de água destilada, evitando assim que os íons presentes na água comum interferissem na análise dos dados. A moagem foi feita dentro da bombona de plástico (90 cm de altura e 30 cm de diâmetro), com auxílio da hélice de aço acoplada à furadeira.

A bombona foi vedada com espesso plástico na parte superior, reservando apenas dois pequenos orifícios para entrada das lâmpadas e da hélice, visando prevenir que o vapor de mercúrio e o pó fosfórico escapassem do recipiente.

A hélice foi posta para girar a uma velocidade de 75 rpm por 3 minutos. Nesse tempo, quebraram-se as lâmpadas, o vidro foi triturado em pedaços pequenos e a suspensão restante foi agitada;

- peneiramento do material resultante da quebra: as peneiras serviram para separar as partes sólidas da solução resultante da quebra. A peneira de 4 mesh foi utilizada para reter os terminais de alumínio, a de 14 para os cacos de vidro e a de 200 para a poeira fosforada;
- análise da solução restante, confirmando a presença do mercúrio, e identificando outros elementos presentes: após o peneiramento de todo o material, duas amostras da suspensão restante (aspecto esbranquiçado) foram recolhidas para serem submetidas à fluorescência de raios-X;
- tratamento da solução restante com hidroxiapatita e fosfato de cálcio amorfo, observando a qualidade da retirada dos íons nocivos: após a confirmação da presença do mercúrio na suspensão restante, amostras de 100 ml foram tratadas com 10 ml de soluções de hidroxiapatita nas concentrações de 20 g/L e 100 g/L. O tratamento também foi feito com solução de fosfato de cálcio amorfo (rejeito obtido na fabricação da hidroxiapatita), na proporções de 1:10 e 1:2;
- desenvolvimento de protótipo de baixo custo que permita a reciclagem de um pequeno número de lâmpadas.

3 RESULTADOS

Após a quebra do lote inicial de lâmpadas, amostras da suspensão obtida após peneiração, que retirou os terminais de alumínio, o vidro e parte do pó fosfórico, foram submetidas à fluorescência de raios-X, sendo os resultados expostos na Tabela 2.

Tabela 2. Elementos químicos identificados com fluorescência de raios-X (22/12/2012)

Elemento	Quantidade (ppm)	
	Amostra 1	Amostra 2
Ca	54126.992	51600.725
La	1940.532	1980.667
Y	1510.712	1378.185
Ce	1463.080	1473.746
Mn	890.779	797.677
Fe	315.396	306.297
Sr	294.892	263.861
Nd	266.829	160.497
V	176.251	-
Hg	52.480	44.848
Cu	-	26.371
H ₂ O (%)	93.896	94.197

O mercúrio foi identificado nas amostras, e pretende-se retirá-lo da solução utilizando a hidroxiapatita ou o fosfato de cálcio amorfo. A retirada de metais com estes materiais está relacionada a dois fatores: raio iônico do íon e eletronegatividade.

O raio iônico do Hg²⁺ varia entre 0,82 e 1,28 Å, portanto, o cátion está na faixa de raios que a hidroxiapatita consegue remover do meio com maior eficiência. O mercúrio em seu estado neutro possui uma eletronegatividade intermediária quando comparado com outros elementos da tabela, mas como faltam dois elétrons para completar a camada de valência no Hg²⁺, a eletronegatividade do cátion será alta. Assim, espera-se que tanto a hidroxiapatita quanto o fosfato de cálcio amorfo, os quais possuem propriedades similares, consigam remover o Hg²⁺ de forma satisfatória.

O protótipo reciclador desenvolvido é mostrado na Figura 4, sendo cada uma de suas partes explicadas a seguir. O objetivo é fazer uma trituração úmida seguida de separação do mercúrio por via química.

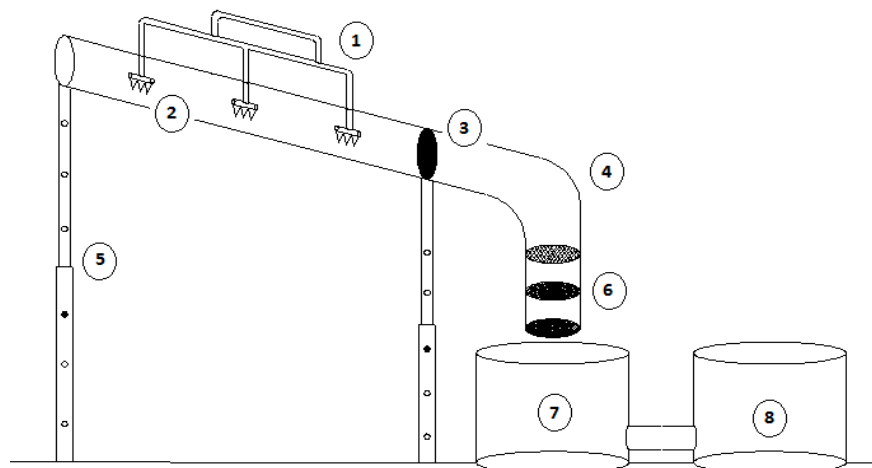


Figura 4. Protótipo reciclador de lâmpadas.

- 1 A alça utilizada pelo operador do protótipo. Movimentando-a para cima e para baixo promove a quebra das lâmpadas;
- 2 dispositivo responsável pela moagem das lâmpadas. O formato pontiagudo permite que uma força menor seja capaz de quebrar as lâmpadas;
- 3 dispositivo que controla a passagem de água para as peneiras. No momento da quebra das lâmpadas ele deverá ficar fechado, para em seguida ser aberto, permitindo que o material restante atinja as peneiras;
- 4 cano de PVC onde as lâmpadas serão acondicionadas;
- 5 conjunto de peneiras que irá separar os terminais de alumínio, vidro e outros componentes do resto da solução proveniente da quebra das lâmpadas;
- 6 recolhedor da solução da quebra das lâmpadas, no qual a mesma será tratada com hidróxiapatita ou fosfato de cálcio amorfo para remover o mercúrio; e
- 7 coletor final da água tratada, que poderá ser reutilizada no próximo processo de reciclagem.

4 DISCUSSÃO

A quantidade de mercúrio identificada a partir da quebra das 10 lâmpadas foi muito pequena, o que condiz com o esperado, visto que a Abilux (Associação Brasileira de Indústria de Iluminação) estima que existam 15 mg de Hg por lâmpada tubular. Além disso, o mercúrio se adere com certa facilidade em superfícies plásticas, tal como a da bombona utilizada para se fazer a quebra, o que pode ter reduzido a quantidade em solução.

Durante todo o projeto, trabalhamos com a remoção do mercúrio ionizado, na forma de cátion Hg^{2+} . A suposição de que esse seria o estado de oxidação do metal na solução resultante da quebra deriva de pesquisas realizadas anteriormente por outros autores.⁽⁶⁾

A hidróxiapatita é uma comprovada eficaz removedora de metais,^(7,8) sendo que o rejeito obtido na sua produção, o fosfato de cálcio amorfo, possui propriedades bastante parecidas. Não foi identificado trabalho analisando a remoção específica do mercúrio, mas ela se mostrou eficiente no tratamento de diversos outros metais e o mercúrio encontra-se dentro das condições mínimas requeridas à remoção.

5 CONCLUSÃO

O principal foco deste trabalho foi encontrar uma rota eficiente e de baixo custo para reciclagem de lâmpadas fluorescentes. A preocupação com o descarte dessas lâmpadas relaciona-se à presença de mercúrio nas mesmas, um metal bastante tóxico, que pode gerar contaminação em solos, águas e organismos.

Tendo pequenos e médios consumidores em mente, elaboramos um protótipo, feito com materiais baratos e fáceis de serem adquiridos, e de simples utilização, para reciclar as lâmpadas. O único gasto intrínseco ao funcionamento do mesmo é com consumo de água, na qual as lâmpadas seriam quebradas enquanto imersas. Entretanto, essa água é tratada, podendo, assim, ser reaproveitada em novos ciclos de moagem.

O tratamento da água consiste em deixar uma quantidade de mercúrio permitida pela legislação brasileira na mesma (limite máximo de 100 mg de mercúrio, por quilograma de resíduo – ABNT 1987a),⁽¹¹⁾ o que é feito utilizando-se hidróxiapatita ou fosfato amorfo de cálcio. Esses materiais são capazes de remover metais do

meio em que estão inseridos através de diversos mecanismos, e o Hg^{2+} possui as características necessárias a essa remoção (raio iônico entre 0,9 e 1,3 Å e alta eletronegatividade).

Agradecimentos

Ao nosso orientador Dr. Sidney Nicodemos da Silva, que nos incentivou mesmo nos momentos mais difíceis; ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) por nos proporcionar a oportunidade de embarcar no mundo da pesquisa; ao Departamento de Engenharia de Materiais do CEFET-MG e seus membros, pelos recursos disponibilizados e pela atenção e tempo dedicados; às nossas famílias pelo apoio incondicional.

REFERÊNCIAS

- 1 ZANICHELI, C. et al. **Reciclagem de lâmpadas aspectos ambientais e tecnológicos**. Campinas: Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2004, p.5-6.
- 2 MOÇÃO Nº 085. CONAMA, 27 de Junho de 2007.
- 3 VERA, Y. M. **Predição da concentração do mercúrio em tucunaré utilizando modelos de balanço de massa e bioenergético**. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2004, p.33-39.
- 4 VERA, Y. M. **Predição da concentração do mercúrio em tucunaré utilizando modelos de balanço de massa e bioenergético**. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2004, p.26-32.
- 5 RESOLUÇÃO Nº 430. CONAMA, 13 de Maio de 2011.
- 6 RAPOSO, C. **Contaminação ambiental provocada pelo descarte não controlado de lâmpadas de mercúrio no Brasil**. Belo Horizonte: Centro de desenvolvimento da tecnologia nuclear, 2001, p. 16-20.
- 7 COSTA, A. C. F. M. et al. Hidroxiapatita: obtenção, caracterização e aplicações. **Revista eletrônica de materiais e processos**, Campina Grande, v.4, n.3, p.29-38, 2009.
- 8 MAVROPOULOS, E. A hidroxiapatita como removedora de chumbo. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 1999, p.21-28.
- 9 SOUZA, J. F., SALOMÃO, G. C., TEIXEIRA, M. F. G. Remoção de íons metálicos de soluções aquosas, por apatitas sintéticas, usando o método de troca iônica em coluna. **Eclética Química**, Araraquara: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, vol. 25, n.1, 2000.
- 10 YALLOUZ, A. V.; BORTOLAZZO, W. M.; CARVALHO, E. A. **Solução tecnológica de baixo custo para tratamento de efluentes de processo alternativo de reciclagem de lâmpadas fluorescentes**. Comunicação técnica. Centro de Tecnologia Mineral. Rio de Janeiro, dez. 2006. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2006-077-00.pdf>>. Acesso em: 13 maio 2012.
- 11 WINDMÖLLER, C. C.; DURÃO, W. A. J. **A Questão do Mercúrio em Lâmpadas Fluorescentes** (artigo científico). Química na nova escola. Nº 28. 2008. Disponível em: <www.qnesc.sbg.org.br/online/qnesc28/04-QS-4006.pdf>. Acesso em: 14 maio 2012.