

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA**

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO  
GESTÃO AMBIENTAL E NEGÓCIOS NO SETOR ENERGÉTICO**

**MÁRCIO RODRIGO RIBEIRO**

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA: LÂMPADA FLUORESCENTE  
COMPACTA  
versus LÂMPADA INCANDESCENTE, CENÁRIO ATUAL E ESTUDO  
DE CASO NA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**SÃO PAULO**

**2010**

MÁRCIO RODRIGO RIBEIRO

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA: LÂMPADA FLUORESCENTE COMPACTA  
versus LÂMPADA INCANDESCENTE, CENÁRIO ATUAL E ESTUDO DE  
CASO NA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

Monografia para conclusão do Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios do Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo.

Orientador: Dr. Elvo Calixto Burini Junior

SÃO PAULO

2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

### FICHA CATALOGRÁFICA

Ribeiro, M R.

Análise do ciclo de vida: lâmpada fluorescente versus lâmpada incandescente, cenário atual e estudo de caso na Universidade de São Paulo./ Márcio Rodrigo Ribeiro; orientador Elvo Calixto Burini Junior.-- São Paulo, 2010.  
80f. il.; 30cm.

Monografia (Curso de Especialização Gestão Ambiental e Negócios no setor energético) Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo.

1. Gestão ambiental 2. Iluminação 3. Energia.  
4. I. Título.

MÁRCIO RODRIGO RIBEIRO

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA: LÂMPADA FLUORESCENTE COMPACTA  
versus LÂMPADA INCANDESCENTE, CENÁRIO ATUAL E ESTUDO DE CASO NA  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

---

SÃO PAULO

2010

O importante não é ser forte, mas sentir-se forte...

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores pela atenção e pelo conhecimento compartilhado. Aos colegas de curso pela amizade e apoio nos estudos e trabalhos, em especial ao Araújo e Soraya.

Agradeço também aos colegas de José Gil, Marcelo e Rinaldo.

Agradeço ao Dr. Elvo Calixto Burini Junior pela dedicação, orientação e compreensão.

Agradeço à minha família pelo apoio e incentivo.

Agradeço à Mariza (futura esposa), fiel companheira pela compreensão, carinho e dedicação.

Agradeço, por fim, a oportunidade de acesso a este curso ao Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo pela bolsa de estudo que foi concedida, contribuindo para o meu aperfeiçoamento profissional.

## RESUMO

RIBEIRO, M. R. **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. 2010, 80f.

O tema central do trabalho está na proposta de considerar a Análise do Ciclo de Vida da lâmpada fluorescente compacta, quando esta tecnologia é comparada, em substituição a lâmpada incandescente. No Brasil, a partir do ano 2001, devido à crise no abastecimento de energia elétrica, o chamado “apagão”, esta substituição de fonte luminosa tem sido difundida exclusivamente para diminuir o consumo e aumento de eficiência no uso final da energia elétrica. A análise foi conduzida para mostrar problemas e fazer considerações sobre providências a serem tomadas em relação a substituição preconizada, feita sem um foco ambiental, onde deve ser avaliada toda a condição desta troca, após o final da vida útil, a reciclagem das lâmpadas. A consideração de instrumento de Gestão Ambiental permite melhorias tanto ao avaliar a atual situação quanto para ação junto ao segmento para minimizar os impactos ambientais causados. Foi definido cenário para estudo da substituição das lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes e estabelecido roteiro para ser comparado todo seu ciclo de vida, analisando seu gasto energético para a produção, utilização e destino final das lâmpadas consideradas. Após a definição dos elementos fundamentais de gestão do meio ambiente, como sustentabilidade, economia de energia e gasto energético de produção a pesquisa busca mostrar os impactos causados pela substituição de um modelo pelo outro e seu destino final analisando comparativamente as duas situações e também faz uma análise da atual situação da reciclagem deste tipo de lâmpada no Brasil.

Este trabalho apresenta resultado de levantamento realizado com usuários sobre a conduta dominante de descarte de lâmpadas fluorescentes no lixo doméstico e faz recomendação com relação à implantação de um projeto para a coleta e o descarte correto (do ponto de vista da gestão ambiental) de lâmpadas fluorescentes pelo Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo.

**Palavras-chave:** Gestão Ambiental. Análise do Ciclo de Vida. Lâmpadas Fluorescentes. Lâmpadas Incandescentes. Energia. Resíduo Sólido. Destino final. Reciclagem

**ABSTRACT**

**RIBEIRO, M.R. Life Cycle Analysis: compact fluorescent lamp versus incandescent lamp, the current scenario and a case study from the University of São Paulo.** Monograph of expertise - Specialization in Management and Business, Department of Energy's Office of Electric Energy, University of São Paulo. 2010, 80f.

The target theme of this work is the proposal to consider the compact fluorescent lamp life cycle analysis, comparing this technology towards the substitution of the incandescent lamp. In Brazil, from the year 2001, due to the crisis in the electricity supply, so-called "blackout", this light source replacement has been broadcasted exclusively to reduce electricity consumption and increase efficiency in the final use of electricity. The analysis was conducted to demonstrate problems and considerations about the steps to be taken regarding the proposed replacement, made without an environment focus, which should be evaluated throughout the conditions of this exchange, and after the end of its life, recycling the bulbs.

The considerations of environmental management tools allow improvements both in evaluating the current situation regarding the action with this segment to minimize environmental impacts. A scenario was defined for the study of replacing incandescent bulbs with fluorescent bulbs and established guide to be compared throughout their life cycle by analyzing their energy expenditure for the production, use and final disposal of the bulbs. After defining the key elements of environmental management, such as sustainability, energy saving and production costs, this research aims to show the impacts caused by substitution of a model for other and their final destination comparatively analyzing both situations and analyzing the current situation on recycling this type of lamp in Brazil.

This work presents results of the survey conducted among users about the dominant behavior of disposal in household waste and recommends a project implementation to collect and dispose correctly (in terms of environmental management) fluorescent lamps by the Electrical Energy Institute of the University of São Paulo.

**Keywords:** Environmental management. Fluorescent lamps. Life cycle. Incandescent. bulbs. Energy. Solid waste. Final destination. Recycling.



**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Fases da Análise do Ciclo de Vida.....	22
Figura 2 – Diagrama de Emissões de Mercúrio na Atmosfera.....	32
Figura 3 – Redução nas emissões de Mercúrio nos EUA.....	33
Figura 4 – Emissão de Mercúrio associada por países.....	34

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Tipos de lâmpadas contendo Mercúrio.....	28
Tabela 2 – Tabela da quantidade componentes/materiais utilizados nas lâmpadas incandescentes e fluorescente compactas.....	54

**LISTA DE SIGLAS**

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ACV</b>	Análise de Ciclo de Vida
<b>CETESB</b>	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
<b>EUA</b>	Estados Unidos da America
<b>GA</b>	Gestão Ambiental
<b>GLS</b>	Lâmpada Incandescente Convencional (General Lighting Surce)
<b>IEE-USP</b>	Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo
<b>LED</b>	Light Emitting Diode
<b>LF</b>	Lâmpada Fluorescente
<b>LFBU</b>	Lâmpada Fluorescente de Base Única (compacta)
<b>NEMA</b>	National Electrical Manufacturers Association
<b>PML</b>	Produção Mais Limpa
<b>EPUSP</b>	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
<b>RMIT</b>	Royal Melbourne Institute of Technology
<b>RoHs</b>	Restriction of the Use of certain Hazardous Substances
<b>SETAC</b>	Society of Environmental Toxicology and Chemistry

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1-1	Uma visão da problemática a ser considerada.....	14
1-2	Estado da Arte.....	16
1-3	A Lâmpada LED como solução.....	17
<b>2</b>	<b>GESTÃO AMBIENTAL.....</b>	<b>19</b>
2.1	Instrumental da constituição federal.....	20
2.2	Instrumental técnico-econômico: ACV.....	20
2.2.1-	Fases da ACV.....	21
2.3	Normalização da Análise do Ciclo de Vida.....	26
<b>3</b>	<b>AS FONTES PRIMARIAS DE LUZ ARTIFICIAL.....</b>	<b>28</b>
3.1	Determinação de Hg em lâmpadas.....	29
3.2	A Lâmpada Incandescente.....	29
3.3	A Lâmpada Fluorescente.....	30
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
4.1	Definição de Cenário possível para o Estudo.....	31
4.2	Dados disponíveis e utilizados para a análise.....	32
<b>5</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>39</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>42</b>
	<b>ANEXOS</b>	
	ANEXO A - Capítulo VI da Constituição Federal - Meio Ambiente - Art. 225.....	46
	ANEXO B – Tópicos sobre o elemento químico Mercúrio.....	48
	ANEXO C –Tópicos Coleta de Lâmpadas Fluorescentes.....	50
	ANEXO D – Estudo de caso – Implantação do programa de Reciclagem de lâmpadas Fluorescentes no IEE.....	52
	ANEXO E – Tabela da quantidade componentes/materiais utilizados nas lâmpadas incandescentes e fluorescentes compactas.....	54
	ANEXO F - Análise do Ciclo de Vida de Iluminantes: Uma comparação de Lâmpadas Incandescentes, Lâmpadas Fluorescentes Compactas e Lâmpadas LED.....	55

## 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo estão apresentados tópicos que norteiam o leitor sobre o contexto do tema apresentado e esta feita uma primeira abordagem ao problema a ser considerado.

A iluminação artificial teve seu início ao longo do século XIX e foi sem dúvida um marco importante na vida do homem, que com o passar dos anos desenvolveu novas tecnologias a fim de se iluminar cada vez mais consumindo cada vez menos energia. A lâmpada incandescente que foi durante anos a mais utilizada no mundo esta sendo substituída gradualmente pelas novas lâmpadas fluorescentes (LF). O novo modelo de lâmpada mostrou-se mais eficiente em termos de uso final energético, porém a utilização da lâmpada fluorescente faz emergir tema importante, a preocupação ambiental deve ficar aqui destacada. Isto é devido à existência no interior do bulbo de “alto” teor do elemento químico Mercúrio, um metal que sabemos ser altamente tóxico e nocivo tanto a saúde humana quanto ao meio ambiente em que vivemos. Está indicado na literatura que algumas empresas de grande porte que utilizam LF, pelo menos desde 2001, já tem se adequando as legislações ambientais e as enviam a empresas especializadas em reciclagem (atualmente são onze no país), porém o consumidor residencial possui poucas informações a respeito e não sabe o que fazer com este tipo de material após utilização. A população não tem conhecimento de como deve proceder ao final do uso de uma lâmpada fluorescente seja ela de qualquer tipo (compacta ou tubular) e faz o seu descarte sem qualquer cuidado no lixo comum causando assim a contaminação do meio ambiente. A contaminação do meio ambiente vem ocorrendo desde a Revolução Industrial, que ocorreu no século XIX, onde as grandes empresas são as grandes responsáveis pelas alterações ambientais que vêm ocorrendo tanto pelo ponto de vista dos recursos naturais utilizados na produção e pela extração de insumos quanto pela disposição final de seus produtos.

Os impactos ambientais afetam negativamente o bem estar de outras pessoas que por sua vez não possuem relação direta com o causador do impacto e isso por sua vez não causa custo para as empresas. A degradação ambiental acaba se tornando um custo para a própria sociedade que terá que arcar com esta responsabilidade. Devido a este problema surge à necessidade de melhorias nos processos produtivos diminuindo assim o consumo de insumos e geração de resíduos. Tais problemas podem ser atenuados ou evitados através de leis, fiscalizações, punições e benefícios fiscais, juntamente com a Gestão Ambiental que por sua

vez desenvolve e implanta políticas e estratégias ambientais otimizando os processos de gerenciamento e proporcionam benefícios estratégicos como benefícios econômicos.

### 1.1 Uma visão da problemática a ser considerada

As lâmpadas fluorescentes compactas vêm substituindo gradualmente as lâmpadas incandescentes convencionais utilizadas há anos pelos consumidores de todo o país. Isto é devido, em parte, à maior eficiência energética do modelo fluorescente. O pico da substituição ocorreu no ano de 2001, após o evento que ficou conhecido por “apagão”, que atingiu grande parte do país e que levou as autoridades e a população a tomarem a decisão de diminuir o consumo de energia elétrica para que o problema não voltasse a ocorrer. Porém, a substituição das lâmpadas incandescentes por fluorescentes não deve ser considerada exclusivamente sobre a diminuição da potência e/ou o consumo de energia, mas também sobre todo um processo: iniciando pela fabricação, passando pelo transporte, a sua instalação, utilização e o seu descarte ou destino final. A simples comparação do consumo de energia, geralmente feito a partir da potência nominal não deve ser o único aspecto a ser levado em consideração, pois para se produzir uma lâmpada fluorescente compacta utiliza-se diversos tipos de componentes eletrônicos e químicos que podem não estar presentes nas lâmpadas incandescentes convencionais (sigla do inglês, GLS). Países europeus e norte-americanos já incluíram as lâmpadas fluorescentes, após utilizadas, na lista de resíduos que são nocivos ao meio-ambiente, pois essas lâmpadas contêm substâncias que podem afetar seriamente a condição de ser humano, como o elemento químico Mercúrio, um metal denso ou pesado que pode entrar na cadeia alimentar e uma vez ingerido ou inalado, pode causar efeitos danosos ao sistema nervoso humano. Ele é cumulativo e possui efeito degenerativo. Os trabalhadores que participam na etapa de enchimento das LF convencionais costumam ter leitura periódica do nível de contaminação. Aparentemente o elemento químico Mercúrio (símbolo Hg) não faz parte das lâmpadas incandescentes convencionais nem está presente ou é detectado ao longo do ciclo de vida desta fonte de luz elétrica, quando a geração de energia não possui parte com base na queima de óleos e particularmente carvão.

Atualmente, no Brasil, o destino final das lâmpadas fluorescentes é preocupante. Existe Decreto aprovado pelo Eng. Gilberto Kassab, aos três dias de Maio de 2010, Prefeito no município de São Paulo, que regulamenta o descarte de lâmpadas Fluorescentes (Lei municipal n. 14.898, de três de Fevereiro de 2009) em repartições públicas, o “*Decreto Nº 51.456, que trata da coleta de lâmpadas fluorescentes defeituosas ou que não mais*

*acendem para reciclagem e reaproveitamento em todas dependências públicas da Cidade de São Paulo*” (para detalhes ver Anexo III). Alguns órgãos já estão colocando em prática tal decreto. Na CUASO, a escola Politécnica da Universidade de São Paulo é um exemplo a ser seguida, no tema atualmente ela possui um programa de recolhimento de lâmpadas fluorescentes (“Gestão de Lâmpadas Fluorescentes da Escola Politécnica da USP”), que está implantado desde julho de 2006. Este programa já instalou 16 coletores distribuídos por todos os seus prédios, sendo que até a data de Maio de 2010, foram coletadas e descontaminadas 7.560 unidades de lâmpadas de distintas potências. Atuando dentro da Escola Politécnica, somente, o programa divulga seus resultados pela utilização de figura de mérito calculada com base na contaminação da água causada pelo Mercúrio que é utilizado neste tipo lâmpada. Segundo os resultados deste programa cada grama de mercúrio pode contaminar cerca de cinco milhões e meio de litros de água. O cálculo indica no período em que foi implantado o programa, terem sido reciclados 17,4 gramas de Mercúrio que seriam capazes de contaminar noventa e seis milhões e seiscentos mil litros de água. Infelizmente esse tipo de programa não é amplamente difundido em todas as repartições e órgãos públicos, mesmo dentro da Universidade de São Paulo, no caso do IEE – Instituto de Eletrotécnica e Energia, não existe prática similar. Em entrevista conduzida junto a funcionários responsáveis pela manutenção no IEE atualmente eles recolhem as lâmpadas com problemas e as acomodam em um determinado local até que uma empresa é contratada para realizar o recolhimento. A remoção é realizada sem que se saiba qual será o destino dessas lâmpadas e particularmente do Hg nelas contido. Num futuro próximo esta prática deverá ser alterada, ficando recomendado a toda a sociedade, em particular ao IEE, que seja adotado um programa a partir da experiência já acumulada e apresentada pela Escola Politécnica.

No caso das indústrias de grande porte como as multinacionais já existe na maioria delas algum tipo de programa de reciclagem para as lâmpadas utilizadas em sua dependência. Na maioria dos casos devido ao cumprimento com normas da série ISO. O grande “gargalo” para a reciclagem das lâmpadas fluorescentes esta no setor residencial que é o maior consumidor deste tipo de lâmpadas (LFBU) no Brasil. Atualmente não existe divulgação sobre qual o procedimento que deve ser tomado no caso de lâmpadas fluorescentes quando descartadas. Após fazer um levantamento para mapear a conduta a partir de resposta a questionamento formulado junto a algumas pessoas foi constatado que dentre uma amostra composta de quinze (15) entrevistados, a maioria, treze (13) disseram que após o fim da vida as lâmpadas são acondicionadas (embrulhadas) em jornal ou em caixa de papelão e posteriormente são jogadas diretamente no lixo residencial comum, duas (2) pessoas disseram

que mantém as lâmpadas sob sua guarda ou destinam para lugar de recolhimento apropriado. A falta de informação sobre a destinação motivou uma ação simples, que foi o meu contato junto a algumas lojas (de grande porte) que atuam no segmento de construção civil e utilidades domésticas (C&C, Conibase, Telhanorte e Leroy Merlin). Tendo sido constatado que as mesmas recolhem este tipo de lâmpada em suas lojas, sem distinção se trabalham ou comercializam a marca da lâmpada entregue, e sem a cobrança de nenhuma taxa, também informaram que posteriormente os fabricantes retiram estas lâmpadas e as levam para reciclagem. Para as quinze pessoas entrevistadas, também perguntei se elas sabiam que as lojas citadas acima recebem estas lâmpadas para a reciclagem - todas me disseram que não tinham esse conhecimento e aquelas que disseram que jogavam as mesmas no lixo comum, acredita-se, o fazem devido a falta de informação/educação.

Talvez alguns continuarão a descartar ou colocar LFBUs no lixo comum, mesmo depois de saber sobre as opções disponíveis e um caminho que começa a ser construído possa ser “a valorização dos resíduos”, particularmente aqueles que podem ser perigosos ao ser humano e meio ambiente.

## 1.2 Estado da Arte

“Temos que reduzir o consumo de energia”, este é o tema que está sempre em discussão. Temos em mente que sempre temos que economizar energia e criar soluções que nos levem a tal redução, porém com o pensamento no impacto ambiental, no que isso possa causar: para um leigo o simples fato de se trocar um produto que consumia mais energia por outro que consome menos já é uma garantia de economia de energia o usuário poderá pensar que está fazendo sua parte. Durante a crise energética brasileira em 2001 (“apagão”), o grande exemplo de tal fato ocorreu na substituição das lâmpadas incandescentes convencionais por lâmpadas fluorescentes de base única, em sua maioria compactas (LFBUs), o consumo de energia realmente foi reduzido e o país superou momentaneamente a crise que assustava a todos. Porém, com o passar do tempo essas lâmpadas fluorescentes chegaram ao fim de sua vida útil (em torno de 8000 horas, nominais) e tiveram que ser substituídas por novas lâmpadas fluorescentes. Esse processo de troca é repetido desde então, mas o fato mais importante é, para onde estas lâmpadas estão indo? Qual é o seu destino final? Quanto está sendo gasto em energia para se fazer o descarte correto das mesmas? Qual é o tamanho do impacto ao meio ambiente quando estas lâmpadas que contêm Mercúrio na sua composição (entre outros elementos, cuja periculosidade talvez seja menor), causam ao serem descartadas



de forma errônea em locais impróprios? E o quanto se gastaria para descontaminar uma área contaminada por Mercúrio provindo das lâmpadas fluorescentes?

Este trabalho mostra através de dados coligidos da literatura que, em países como o Brasil, onde a energia vem quase que totalmente de hidrelétricas que não estão relacionadas à emissão de Mercúrio, diferentemente de países onde utiliza-se carvão como a principal fonte primária de usinas termelétricas, e que neste processo de geração de energia produz-se também quantidade significativa de Mercúrio lançado no meio ambiente: a substituição pura entre tecnologias ou redução na potencia instalada simplesmente não incorpora na “equação estudada” a {Redução de Consumo de Energia x Impacto Ambiental}. Este foco não foi levado em consideração perante o fato da crise energética na substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes.

### 1.3 A Lâmpada LED como solução

O *LED* (do inglês *Light Emitting Diode*, diodo emissor de luz) é um dispositivo eletrônico semicondutor, que quando polarizado diretamente, dentro do semicondutor ocorre a recombinação de lacunas e elétrons. Essa recombinação exige que a energia armazenada por esses elétrons sejam liberadas na forma de calor ou luz devido à passagem da corrente elétrica na junção anodo para o catodo.

Diferente de uma lâmpada convencional (incandescente ou fluorescente) o *LED* não possui filamento, o grande responsável por converter a maior parte da energia elétrica em energia térmica (calor) que significa desperdício, pois o objetivo é iluminar e não aquecer. Este é capaz de produzir muito mais luz visível do que calor ao ser comparado com uma lâmpada incandescente, o que o torna mais eficiente chegando a economizar 50% da energia comparada às fontes tradicionais.

A estrutura básica de um *LED* é uma pastilha semicondutora sob uma superfície refletora em forma de concha, envolvida por uma resina que direciona o feixe luminoso.

A luz branca pode ser obtida através da combinação das três cores básicas GRB (*Green, Red and Blue*, do inglês: verde, vermelho e azul). Os elementos que permitem obtenção de emissão em diferentes bandas ou cores são adicionados ao semicondutor ou pastilha do *LED*. Para obter a cor vermelha é o (AlGaInP), a cor verde e o azul é o (InGaN), sendo as demais cores obtidas através de combinações diferentes destes elementos. Outra forma de obter a cor branca é através do uso do LED azul com adição do fósforo amarelo. Alguns países

desenvolvidos já utilizam a tecnologia dos LEDs em suas cidades para a iluminação pública e os fabricantes ao identificarem essa tendência, estão apostando na tecnologia, desenvolvendo produtos mais rentáveis e de alto desempenho.

A Iluminação é responsável pelo consumo de 20 % de toda a energia gerada pelas centrais elétricas, sendo que a substituição do modelo atual de iluminante por uma nova tecnologia, *LED*, significa menos: água vertida pelas hidrelétricas, combustível fóssil sendo queimado, madeira sendo consumida e CO<sub>2</sub> lançado no ar.

## 2 GESTÃO AMBIENTAL

Neste capítulo são apresentados e detalhados os instrumentos para nortear tanto planejamento quanto ação no âmbito ambiental. A gestão ambiental (GA) é uma prática muito recente, que vem ganhando espaço nas instituições públicas e privadas. Através dela é possível a mobilização das organizações para se adequar à promoção de um meio ambiente ecologicamente equilibrado. Seu objetivo é a busca de melhoria constante dos produtos, serviços e ambiente de trabalho, em toda organização, levando-se em conta o fator ambiental.

Atualmente ela começa a ser encarada como uma área estratégica, porque além de estimular a qualidade ambiental também possibilita a redução de custos diretos (redução de desperdícios com água, energia e matérias-primas) e indiretos (por exemplo, indenizações por danos ambientais).

A Gestão Ambiental pode ser dividida em dois tipos: gestão de processos e gestão de produtos. A principal ferramenta de gestão ambiental de processos é conhecida como Produção Mais Limpa (PML) que consiste em utilizar tecnologia para diminuir a quantidade de insumos gerados e extraídos, e com relação à gestão ambiental de produtos temos algumas ferramentas importantes como a Certificação de produtos, o Ecodesign e a Análise do Ciclo de Vida (ACV), que analisa todo o processo de vida total de um determinado produto desde a extração de sua matéria prima junto ao meio, seu transporte e sua utilização até o seu descarte e uma possível reciclagem voltando assim ao início do ciclo novamente.

Diante da importância dos impactos que determinados produtos causam ao meio ambiente devido ao seu descarte final incorreto ou não reaproveitamento industrial, este estudo vem mostrar que a aplicação da Análise do Ciclo de Vida (ACV) pode contribuir em muito para a redução destes impactos e além disto também podemos analisar em diferentes produtos de mesmo segmento sua real contribuição para redução do consumo de energia elétrica como na poluição e danos ambientais causados pelo mesmo.

Os instrumentos de gestão ambiental foram desenvolvidos para auxiliar a entender e solucionar problemas relacionados ao tema. Existem vários instrumentos ou ferramentas como de gestão ambiental que podem ser usados com intuito de preservar o meio ambiente, como: Estudos de Impactos Ambientais, Relatório de Impacto ao Meio Ambiente, Análise do Ciclo de Vida, Auditoria Ambiental, Relatórios Ambientais, Educação Ambiental, Sistemas de Gestão Ambiental, todos esses instrumentos/ferramentas estão relacionados com a série ISSO 14000, dentro destes vários tipos vamos considerar mais a fundo a (ACV), que é a principal ferramenta relacionada ao nosso estudo.

## 2.1 Instrumental da Constituição federal: Art. 225

No Brasil, as ações relativas ao meio ambiente possuem lastro na carta magna de 1988, que fixa no poder público, figura que pode ser entendida como principal agente gestor. Destaque deve ser dado aos tópicos que estão fixados nos incisos V e VI, parágrafo primeiro do artigo 225 (ver Anexo I).

## 2.2 Instrumental técnico-econômico: ACV

A Análise do Ciclo de Vida é uma ferramenta que permite avaliar o impacto ambiental potencial associado a um produto ou atividade durante seu ciclo de vida. A ACV também permite identificar quais estágios do ciclo de vida tem contribuição mais significativa para o impacto ambiental do processo ou produto estudado. Empregando a ACV é possível avaliar a implementação de melhorias ou alternativas para produtos, processos ou serviços. Declarações ambientais sobre o produto podem ser baseadas em estudos de ACV, bem como a integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos.

Os estudos de ACV tiveram início na década de 60, com a primeira fase da crise do petróleo, que levou a sociedade a se questionar sobre o limite da extração dos recursos naturais, especialmente de combustíveis fósseis e de recursos minerais. Os primeiros estudos tinham por objetivo calcular o consumo de energia e, por isso, eram conhecidos como “Análise de Energia”. Estes estudos envolviam a elaboração de um fluxograma de processo com balanço de massa e de energia. Logo, dados sobre consumo de matérias primas e de combustíveis e também sobre os resíduos sólidos gerados eram contabilizados automaticamente. Por esta razão, alguns analistas se referiam a estes estudos como “Análise de Recursos” ou “Análise do perfil Ambiental”.

O interesse por estudos de ACV enfraqueceu após a segunda fase da crise do petróleo em 1973. Porém, a ACV ressurgiu na década de 80 em decorrência do crescente interesse pelo meio ambiente. A partir de 1990, os estudos de ACV se expandiram muito e foram impulsionados pela normalização proporcionada pela série ISO 14040, com conseqüente aumento do número de estudos, publicações, conferências e congressos, os quais ainda continuam aumentando.

### 2.2.1 Fases da ACV

Esta parte do trabalho aborda teoricamente as divisões da Análise do Ciclo de Vida – ACV.

A ACV teve suas bases e formalmente foi estabelecida pela ISO 14040, são quatro as fases que compõe a Análise do Ciclo de Vida de produtos e serviços:

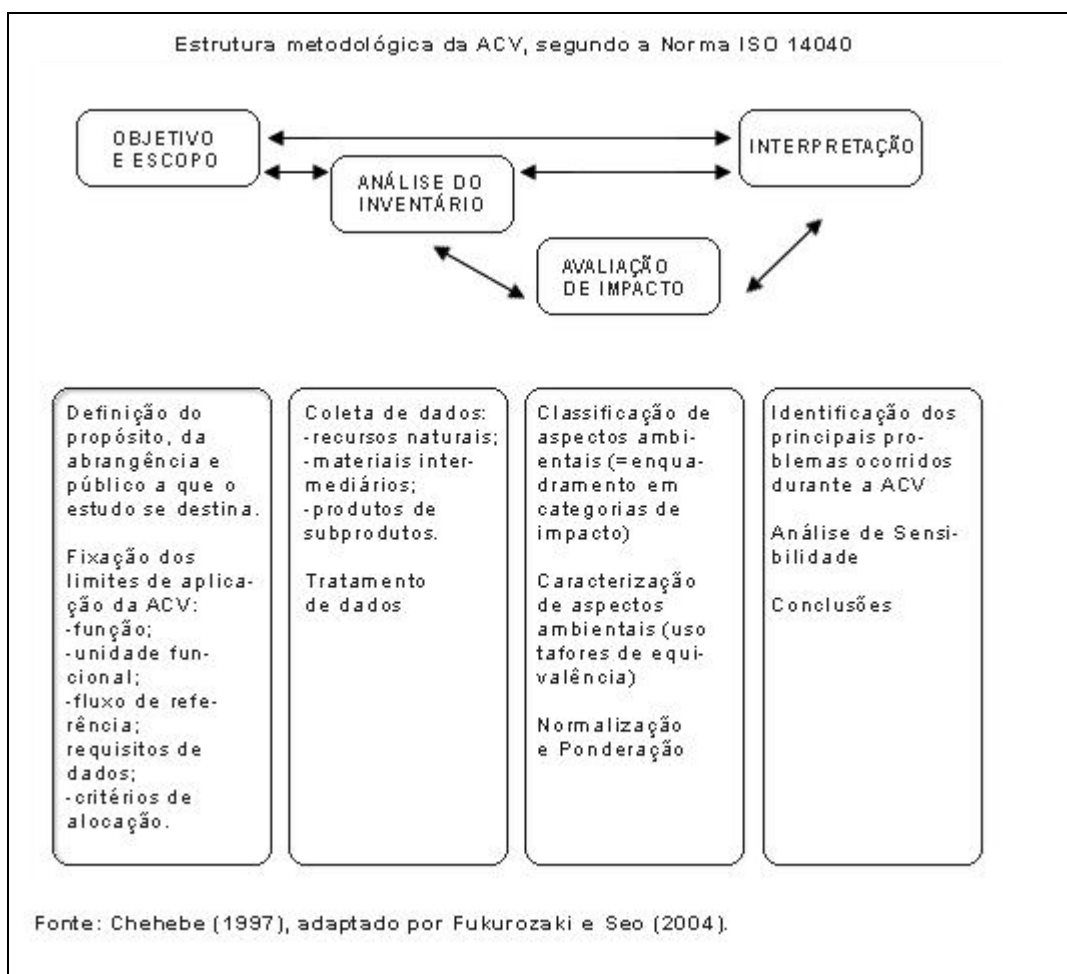
1º Objetivo e Escopo: é a indicação da razão, abrangência, limites e metodologia do estudo. Segundo a ISO 14040, o conteúdo mínimo dessa fase deve referir-se a três dimensões – extensão da ACV (aonde se inicia e termina), a abrangência da ACV (o que inclui), e a profundidade da ACV (nível de detalhamento do estudo);

2º Inventário: é a coleta de todos os dados dos elementos envolvidos no ciclo de vida do produto ou serviço. A ISO 14040 determina que o Inventário deve trazer: o sistema de produto a ser estudado, base para comparação entre sistemas, procedimento de cálculo e coleta de dados, elementos para sua interpretação.

3º Avaliação do Impacto: é o processo qualitativo/quantitativo em que são verificados os impactos ambientais dos elementos coletados no Inventário;

4º Interpretação: é a conclusão das pesquisas e servirá de base para a tomada de decisão dos membros da cadeia produtiva/consumo no desempenho do seu papel social.

A figura 1 a seguir permite a visualização das fases ACV:



**Figura 1 – Fases da ACV**

Fonte: Fukurozaki e Seo, 2004.

#### a) Objetivo e Escopo

O estabelecimento do Objetivo e do Escopo constitui a primeira fase do processo de Análise do Ciclo de Vida. O Escopo é a referência à origem dos dados, à forma de condução do estudo, à aplicação dos resultados obtidos. O Objetivo é a menção à finalidade pretendida indicando, principalmente, os aspectos relevantes direcionadores da pesquisa.

As Normas ISO 14040 e 14041 estabelecem padrões de delimitação desses elementos, sempre com fulcro no Princípio do Menos é Melhor, visto que é fundamental eleger-se quais processos, insumos e demais itens que compõem a produção do bem são essenciais e serão, portanto, objeto de pesquisa, afastando-se demais detalhes que poderão, apenas, tornar a análise mais custosa, complexa e demorada.

Nesse diapasão, importante é salientar que os limites do sistema estudado são de grande importância, uma vez que é por eles que ficarão identificados os elementos do processo que serão analisados na ACV.

Ainda no afã, cumpre destacar que figuram como determinantes de limites, dentre outros, os seguintes fatores:

- aplicação final do estudo – o desempenho do produto a ser moldado;
- público alvo;
- restrição aos dados;
- custo da análise;
- área geográfica afetada pela produção.

Cumprindo sua função regulamentadora e orientadora, as Normas da série ISSO 14000 elencam os requisitos mínimos da fase inicial em voga:

- indicação do sistema a ser estudado;
- identificação e justificativas dos limites e hipóteses de limitação do sistema;
- definição das unidades relevantes do sistema;
- esclarecimento da função do sistema analisado;
- requisitos/qualificação dos dados a serem coletados;
- indicação dos procedimentos de alocação de dados;
- indicação da metodologia adotada;
- menção ao tipo de relatório adequado ao estudo;
- definição dos critérios para a revisão.

Ainda no contexto, convém indicar quais os principais estágios do ciclo de vida que devem ser considerados na definição do Objetivo e do Escopo:

- fluxo de matéria-prima e de energia na produção;
- transporte e distribuição do bem;
- uso dos produtos;
- disposição dos resíduos do produto e do processo de produção;
- recuperação do bem após sua vida útil.

#### b) Análise de Inventário

Trata-se de fase difícil e trabalhosa em que os dados são coletados e calculados. Nessa etapa o estudioso enfrenta o desafio de driblar adversidades como a da falta de dados assim como a da complexidade de qualificar aqueles existentes. Também aqui há o regramento das ISO 14000, trazendo a ISO 14040 princípios e padrão a serem seguidos na análise do Inventário, especificando, ainda, as atividades que devem ser descritas, como:

- preparação para coleta de dados;
- coleta de dados;

- especificação dos procedimentos de cálculo;
- alocação dos dados.

Faz-se uma triagem dos dados a serem coletados, de modo que o pesquisador já saia em busca de informações relevantes ao estudo proposto na fase inicial (Objetivo e Escopo), sendo que alguns critérios podem ser utilizados para essa pré-seleção, como: Balanço de Massa, Balanço Energético, Importância para o Meio Ambiente.

Considerando que serão muitos os dados angariados e que terão diversas origens, é imprescindível que os mesmos sejam organizados para que seja possível uma análise seletiva, sempre se tendo em mente que a confiabilidade do resultado final do trabalho de ACV está diretamente ligada à qualidade dos dados coletados e tratados. Dessa forma, os trabalhos dessa fase resultam na elaboração de tabelas em que são dispostos os dados quantitativos a serem utilizados na próxima fase da ACV.

São fontes de informações:

- Normas Técnicas;
- Estatísticas Ambientais;
- Licenças Ambientais;
- Literatura Técnica;
- Informação interna nas empresas;
- Associações de classe;
- Fornecedores reais e potenciais;
- Banco de Dados de ACV.

Ainda considerando a Fase de Inventário, é importante salientar que muitos produtos não existem de forma isolada, ou seja, o processo de produção pode gerar co-produtos, dos quais um equivale ao produto principal e o outro ao subproduto.

Por óbvio não é correto nem ao menos justo atribuir ao produto principal o caráter ambientalmente impactante isoladamente, devendo-se apreciar a contribuição do subproduto.

Sendo assim, em casos de produção que contenham esse perfil, é latente a necessidade de arrecadação de dados referentes aos co-produtos, uma vez que ambos são alvo da ACV.

### c) Avaliação de Impacto

É a fase da ACV em que se procede, de forma ampla e total, à avaliação quantitativa e qualitativa dos potenciais impactos ambientais dos elementos coletados no Inventário.

Para o cumprimento da melhor avaliação, é imprescindível que o estudo seja estruturado da maneira mais completa possível, tornando-o acessível aos interessados e se



evitando sobreposição de conclusões. No mais, é essencial que os procedimentos de avaliação sejam documentados, que os julgamentos estejam baseados em critérios conhecidos.

A ISO 14042 apresenta um sistema de avaliação o qual requer que sejam descritas, no mínimo, as seguintes atividades:

1ª Seleção das Categorias (por exemplo: Aquecimento Global, Ecotoxicidade, Acidificação, Nitrificação, Redução de Espaço, etc.): é a identificação da questão ambiental, da categoria e dos indicadores utilizados na análise, com base em conhecimento científico, de forma clara e com explicação sobre o foco do problema ambiental.

2ª Classificação dos dados nas categorias indicadas. Todos os elementos coletados no inventário são qualificados conforme o tipo de problema ambiental ao qual contribuem.

3ª Caracterização dos dados de uma categoria: aqui há a quantificação do prejuízo ambiental causado pelo elemento tomado como dado da análise, surgindo daí um Modelo Ambiental.

Também é uma prática característica dessa fase a Atribuição de Pesos aos dados coletados. Para Chehebe (1997), por estar a atribuição baseada em critérios subjetivos, estando sujeita a distorções, especialmente de ordem político-ideológica, não se trata de elemento obrigatório. Porém, há pesquisadores, como Biagio Giannetti e Cecília Almeida (2006), que salientam a importância da valoração, sobretudo na comparação de produtos e processos, para que se conclua pela opção a fazer.

#### d) Interpretação

Essa fase tem por finalidades extrair as conclusões da investigação, esclarecer as respectivas limitações, inclusive ressaltando as circunstâncias que tornam inviáveis algumas pesquisas planejadas no início do estudo, e apresentar recomendações para a análise do ciclo de vida de um produto.

A Interpretação deve ser descrita em três etapas:

1ª Identificação: por meio da estruturação das informações contidas no inventário e indicação dos potenciais impactos ocasionados pelo sistema do produto, são evidenciadas as questões ambientais mais significativas no que tange a ACV em debate;

2ª Avaliação: é um resumo de toda a pesquisa com base nas perspectivas da etapa de Identificação. Aborda a *Integridade* das informações, a sua *Sensibilidade*, por meio da verificação das eventuais incertezas, e a *Consistência*, ou seja, a confiabilidade dos dados.

3ª Conclusões: após colhidas e avaliadas as informações, são tecidas considerações acerca do estudo e, então, elaborado um relatório sobre as questões ambientais de maior

relevância e as recomendações de melhorias a serem adotadas para o melhor aproveitamento do produto com o menor impacto ao meio ambiente.

#### e) Relatório Final

É elaborado com objetivo de propiciar o uso dos resultados do estudo realizado.

O relatório final deve abordar:

- Aspectos Gerais;
- Objetivo do Estudo;
- Escopo do Estudo;
- Análise do Inventário;
- Limitações da Análise do Inventário;
- Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida;
- Interpretação do Ciclo de Vida;
- Revisão Crítica.

### 2.3 NORMALIZAÇÃO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

Muitos estudos de ACV, aparentemente iguais, chegavam a conclusões diferentes devido as considerações feitas, fronteiras adotadas, idade dos dados, tecnologias, logísticas de abastecimento de matérias primas e matriz energética, que são fatores críticos para os parâmetros inventariados. Estes estudos diferem inclusive na interpretação do que seria um sistema adequado para o meio ambiente. Apesar de todas estas restrições, estudos comparativos foram divulgados e causaram impacto no mercado de produtos concorrentes. Assim ficou evidente a necessidade de padronização da metodologia de ACV. A instituição que mais contribuiu neste sentido foi a SETAC – Society of Environmental Toxicology and Chemistry que reuniu pesquisadores líderes na área para discutir o tema ACV em cerca de nove conferencias internacionais organizadas entre os anos de 1990 e 1993. Deste esforço resultou a publicação SETAC Guidelines for Life Cycle Assessment – Code of Practice (CONSOLI et al., 1993), que foi o primeiro documento voltado a padronização da metodologia de ACV e que, mais tarde, orientou os trabalhos de normalização internacional da ISO – International Organization for Standardization.

Os trabalhos de normalização internacional da ACV pela ISO envolveram mais de 300 especialistas em ACV de cerca de 29 países, que atuaram direta ou indiretamente na padronização, e que geraram a serie de Normas ISO 14040 relativas a ACV descritas a seguir:

- ISO 14040: Estabelece as diretrizes e estrutura para a análise do ciclo de vida (editada/publicada em 1997).
- ISO 14041: Estabelece a definição do escopo e análise do inventário do ciclo de vida (editada/publicada em 1998).
- ISO 14042: Estabelece a avaliação do impacto do ciclo de vida (editada/publicada em 2000).
- ISO 14043: Estabelece a interpretação do ciclo de vida (editada/publicada em 2000).
- ISO 14048: Estabelece o formato da apresentação de dados (editada/publicada em 2002).
- ISO TR 14047: Fornece exemplos para a aplicação da ISO 14042 (editada/publicada em 2003).
- ISO TR 14049: Fornece exemplos para a aplicação da ISO 14041 (editada/publicada em 2000).

Com a finalidade de facilitar a aplicação, as normas 14040, 14041, 14042 e 14043, foram reunidas em apenas dois documentos (14041 e 14044).

A norma NBR ISO 14040 (2001) foi internalizada no Brasil pela associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), mediante trabalho desenvolvido pelo Sub-Comitê de Avaliação do Ciclo de Vida – SC-05 do Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental – ABNT/CB-38.

### 3 AS FONTES PRIMÁRIAS DE LUZ ARTIFICIAL

Este capítulo aborda os dois tipos de fontes e principais tipos de lâmpadas contendo Mercúrio. As lâmpadas fluorescentes enquanto intacta não oferecem risco, entretanto ao serem rompidas liberam vapor de Mercúrio que será aspirado por quem a manuseia. A contaminação do organismo se dá principalmente através dos pulmões. Quando se rompe uma lâmpada fluorescente o Mercúrio existente em seu interior se libera sob a forma de vapor, por um período de tempo variável em função da temperatura e que pode se estender por várias semanas. Além das lâmpadas fluorescentes também contêm mercúrio as lâmpadas de vapor de mercúrio propriamente ditas, as de vapor de sódio e as de luz mista. A legislação brasileira através das Normas Regulamentadoras (NRs) do Ministério do Trabalho e a Organização Mundial de Saúde estabelecem igualmente, como limite de tolerância biológica para o ser humano, a taxa de 33 microgramas de Mercúrio por grama de creatinina urinária e 0,04 miligramas por metro cúbico de ar no ambiente de trabalho.

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

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 de funcionamento, mas com diferentes teores de Mercúrio. A tabela 1 apresenta uma estimativa sobre os níveis de Mercúrio encontrados em lâmpadas a descarga com gases. 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**

<b>Tipo de Lâmpada</b>	<b>Potência</b>	<b>Quantidade Média de Mercúrio</b>	<b>Variação das médias de Mercúrio por Potência</b>
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

Fonte: [www.apliquim.com.br](http://www.apliquim.com.br)

### 3.1 Determinação de Hg em lâmpadas.

A determinação de Hg em materiais da eletrotécnica, em especial os produtos como lâmpadas, ainda estão com discussão em andamento na esfera internacional. A norma internacional IEC 62321: 2008 (cujo draft foi acessado, em 01/jun./2010, arquivo: <RoHS\_testing\_IEC\_62321\_Draft.pdf>) possui estabelecido os métodos de ensaio para a determinação de níveis dos elementos Pb, Hg, Cd, Cr (VI), seus compostos e mais outras substâncias químicas, os quais podem estar contidos em produtos elétricos e luminotécnicos. Encontra-se em estágio de projeto de norma (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) o documento internacional que 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. Neste mesmo documento não está considerada a medição de Hg em lâmpada após o final da sua vida útil pelo motivo externado sobre a difusão deste elemento na parede vítrea da lâmpada, com a reação deste com o material do vidro referido. Uma técnica citada é a fluorescência por Raio X (ver . IEC 62321).

### 3.2 A Lâmpada Incandescente

A lâmpada elétrica incandescente é um dispositivo que transforma energia elétrica em energia térmica e energia luminosa. Thomas Alva Edison em 1879 construiu a primeira lâmpada incandescente utilizando uma haste de carvão (carbono) muito fina que, aquecida até próximo ao ponto de fusão, passando a emitir luz. A haste era inserida numa ampola de vidro onde havia sido formado vácuo. O sistema diferia da lâmpada a arco voltaico, pois o filamento de carvão (obtido a partir de fio de algodão) incandescente, ao invés do centelhamento ocasionado pela passagem de corrente das lâmpadas a arco. Como o filamento de carvão tinha pouca durabilidade, Edison começou a fazer experiências com ligas metálicas, pois a durabilidade das lâmpadas de carvão não passava de algumas horas de uso. A lâmpada de filamento de bambu carbonizado foi a que teve melhor rendimento e durabilidade, sendo em seguida substituída pela de celulose, depois Tântalo, Osmio e finalmente a conhecida até hoje com filamento de tungstênio cuja temperatura de trabalho chega próximo a 3000°C. A maior dificuldade encontrada por Swan e Edison, quando tentavam fazer lâmpadas desse tipo, era encontrar um material apropriado para o filamento, que não devia se fundir ou queimar. Hoje em dia os filamentos são, geralmente, feitos de tungstênio, metal que só funde quando submetido a temperatura altíssima (3422 °C). Para evitar que os filamentos oxidem (entrem

em combustão rapidamente) remove-se todo o ar da lâmpada, enchendo-a com a mistura de gases inertes, nitrogênio e argônio ou criptônio. As lâmpadas incandescentes funcionam a baixas pressões, fazendo com que o gás rarefeito funcione como um isolante térmico, já que um gás quando recebe energia, tende a expandir antes de esquentar, e como ele está rarefeito ele expande ao invés de esquentar. Mas é claro que como a energia dada a esse gás (aproximadamente 2800 °C ~ 3000 °C) é muito grande ele expande ao máximo e depois começa a transmitir a energia a ele dada. Se não houvesse esse mecanismo, não conseguiríamos conter 3000 °C dentro de um globo de vidro sem fundi-lo e os outros materiais que compõem uma lâmpada.

O rendimento da lâmpada incandescente é mínimo: apenas o equivalente a 5% da energia elétrica consumida é transformado em luz, os outros 95% são transformados em calor. Por causa desta eficiência luminosa, a União Européia decidiu abolir as lâmpadas incandescentes a partir de 2012.

### 3.3 A Lâmpada Fluorescente

As lâmpadas fluorescentes tubulares (inclui fluorescentes circulares) possuem alta eficiência e longa durabilidade, emitem luz pela passagem da corrente elétrica através de um gás, descarga essa quase que totalmente formada por radiação ultravioleta (invisível ao olho humano) que, por sua vez, é convertida em luz pelo pó fluorescente que reveste a superfície interna do bulbo. É da composição deste pó que resultam as mais diferentes alternativas de cor de luz adequadas a cada tipo de aplicação, além de determinar a qualidade e quantidade de luz e a eficiência na reprodução de cor. São encontradas nas versões Standard (com eficiência energética de até 70 lm/W, temperatura de cor entre 4.100K e 6.100K e índice de reprodução de cor de 85%) e Trifósforo (eficiência energética de até 100lm/W, temperatura de cor entre 4.000K e 6.000K e índice de reprodução de cor de 85%). O desempenho dessas lâmpadas fica otimizado através da sua utilização com reator tipo eletrônico. Elas são utilizadas frequentemente em áreas comerciais e industriais.

As lâmpadas fluorescentes compactas possuem a tecnologia e as características de uma lâmpada fluorescente tubular, porém com tamanhos reduzidos. São utilizadas para as mais variadas atividades, seja comercial, institucional e residencial, com as seguintes vantagens relativas a incandescente:

- consumo de energia 80% menor;
- durabilidade 10 vezes maior;

- design moderno, leve e compacto;
- aquecem menos o ambiente, representando forte redução na carga térmica das grandes instalações;
- excelente reprodução de cores, com índice típico de 85%;
- tonalidade de cor adequada para cada ambiente, com opções entre 2.700K (aparência de cor semelhante às incandescentes) a 4.000K (aparência de cor branca).

## 4 METODOLOGIA

Nesta parte do trabalho estão identificados os cenários e dados, na sua maioria da literatura, que foram utilizados e considerados. Também é considerada a realização de entrevistas numa amostra reduzida, para confirmar hipótese sobre o destino de LF e conhecimento de usos finais.

### 4.1 Definição de Cenário possível para o Estudo

O cenário para a realização de um estudo de caso é o IEE/USP, onde as lâmpadas fluorescentes atualmente são retiradas e acumuladas. A retirada é realizada mediante pagamento a agente sem qualificação conhecida. Também não é conhecido o destino final das lâmpadas ou seus componentes.

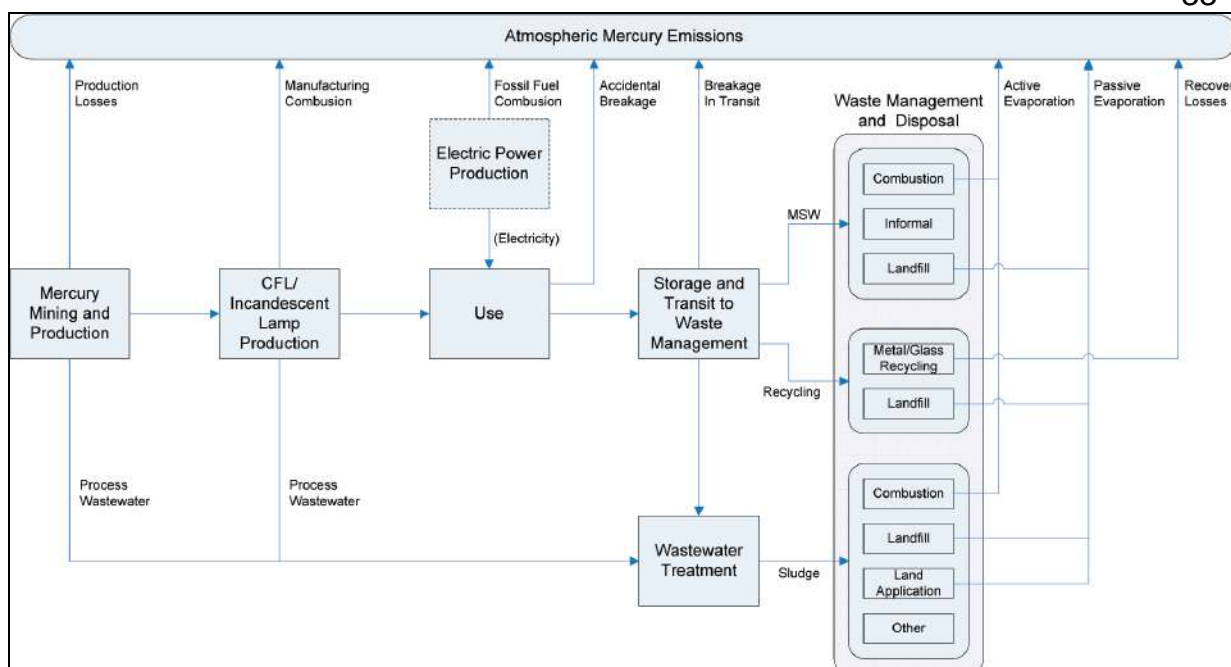
A partir da análise do projeto apresentado pelo “Poli USP Recicla” da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que tem como objetivo sistematizar o processo de gestão de lâmpadas fluorescentes utilizadas em suas dependências, e atendimento das diretrizes da Universidade e as leis ambientais, foi identificado a possibilidade daquela metodologia ser utilizada como ponto de partida para um programa similar a ser implantado dentro do próprio IEE-USP. Neste trabalho é realizado estudo para ser utilizado como base de desenvolvimento institucional. Um projeto baseado nos mesmos moldes utilizados na Escola Politécnica seria totalmente aceitável dentro dos padrões do IEE/(CIPA) e da mesma forma atenderia as diretrizes da Universidade as leis ambientais.

Assim, seguindo as Fases da ACV, que estão consideradas no capítulo 2 deste trabalho e com base no cenário atual do IEE/USP, em relação ao tema gestão do resíduo sólido – lâmpada fluorescente, um estudo de caso foi desenvolvido.

#### 4.2 Dados disponíveis e utilizados na análise

Com a substituição de uma lâmpada incandescente por uma fluorescente compacta de mesmo fluxo luminoso a economia de energia pode chegar a 80% durante a utilização, contudo o efeito da substituição da lâmpada incandescente pela lâmpada fluorescente compacta não está limitado apenas numa redução no consumo de energia como vem sendo divulgado ao longo dos anos, desde a crise energética de 2001, quando houve o pico na substituição das mesmas. Uma análise acurada revela que existe forte dependência do resultado final em relação ao tipo de fonte primária da energia gerada e que é utilizada para a fabricação e manutenção da vida útil (manter a lâmpada em funcionamento). Um levantamento feito em diversos países do mundo e para os 50 estados dos Estados Unidos revela que: a onde a geração de energia elétrica é provinda de termelétricas que utilizam o carvão como matéria prima, a substituição de uma lâmpada incandescente por uma lâmpada fluorescente é energeticamente e ambientalmente viável, em países onde a geração de energia é feita por outros recursos como hídricos ou por outras fontes de energia renovável, essa substituição pode não ser favorável do ponto de vista global. A variação geográfica das emissões de Mercúrio é um fator importante, particularmente, as emissões de Mercúrio relacionadas ao descarte de lâmpada fluorescente. Isto quer dizer que tanto para Estados Unidos e no mundo, em geral, para as regiões onde o carvão é uma fonte importante de energia, a substituição das lâmpadas fluorescentes compactas para lâmpadas incandescentes irá resultar em uma redução significativa nas emissões de Mercúrio para a atmosfera. Em lugares onde o carvão contribui menos para a produção de eletricidade ou se a energia vem de diversos tipos de energias renováveis como um substituto para carvão, a redução relativa das emissões de mercúrio a partir desta substituição diminuiria. Na figura 2 está apresentado um diagrama que mostra as emissões de mercúrio na atmosfera em todas as fases da vida das lâmpadas incandescente e fluorescente compacta.

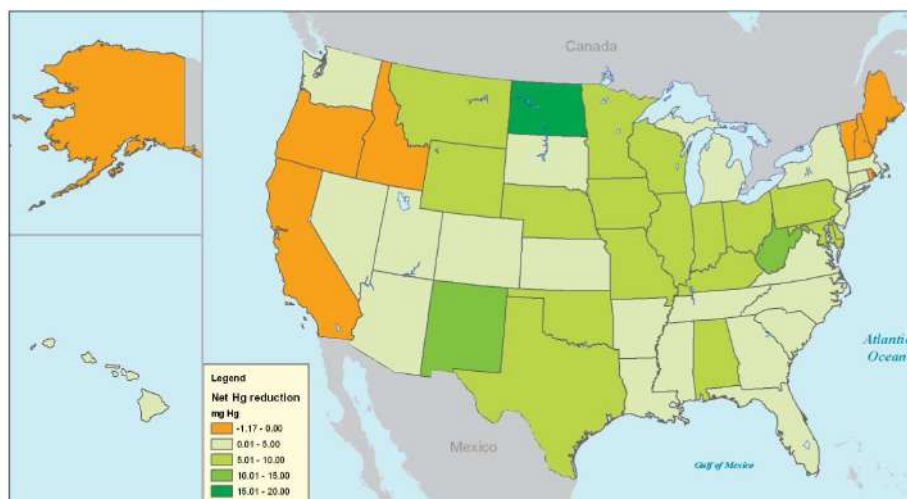




**Figura 2 – Diagrama de Emissões de Mercúrio na Atmosfera**

Fonte: MATTHEWJ. ECKELMAN, 2008.

Como podemos ver na figura 3, para os Estados Unidos, a maior redução nas emissões ocorre em Dakota do Norte, Virgínia Ocidental e do Novo México, todos os estados americanos que retiram mais de 85% da sua eletricidade a partir do carvão.



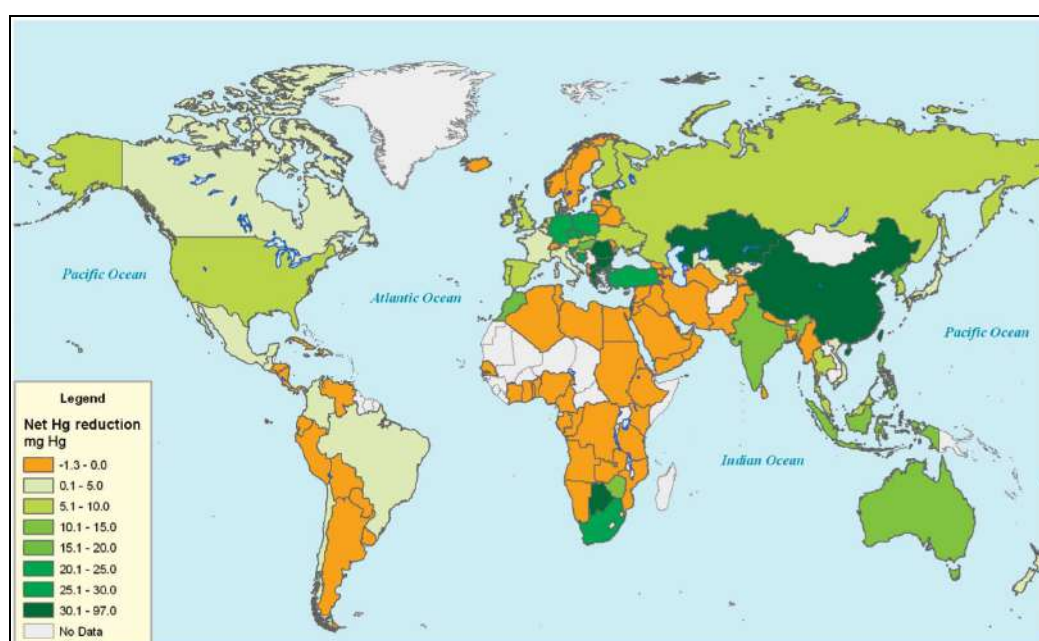
**Figura 3 – Redução nas emissões de mercúrio nos EUA.**

Fonte: MATTHEWJ. ECKELMAN, 2008.

Curiosamente, os estados de Indiana e Wyoming utilizam uma maior porcentagem de carvão e ainda as reduções nos estados é cerca de metade do que do Novo México, isto ocorre devido principalmente a diferenças na qualidade do carvão e do teor de Mercúrio presente nele, ao tratamento dado ao carvão, e a utilização de tecnologia de controle de poluição. Há

vários estados onde o aumento na utilização de lâmpadas fluorescentes compactas irá resultar em aumento emissões atmosféricas de Mercúrio, ou seja, nos estados do Alasca, Califórnia, Oregon, Idaho, Vermont, NewHampshire, Maine, Rhode Island. Todos estes estados usam pouco carvão na geração de eletricidade, com a exceção de New Hampshire (18,3%), que tem uma taxa relativamente baixa de emissões de Mercúrio para o carvão utilizado.

Existem muitas variáveis com relação à emissão de Mercúrio, mas os principais fatores são a qualidade do carvão e do teor de Mercúrio contido nele. Na Estônia, o país com maior potencial para redução das emissões de Mercúrio, o carvão é responsável por 92 % de toda a geração de energia elétrica do país e, além disso, o carvão utilizado é de baixa qualidade, o que leva o país a gerar mais emissões de Mercúrio. Países como a Brasil, Noruega ou Paraguai que utilizam uma alta proporção de energia elétrica cuja fonte primária é hidroelétrica, ou os muitos que dependem fundamentalmente do petróleo para a geração de energia térmica, segundo o trabalho a troca LFBU – incandescente convencional poderá aumentar a quantidade de emissões atmosféricas de Mercúrio associado com as lâmpadas fluorescentes. A Figura 4 mostra o efeito “líquido” da emissão de Hg pela substituição preconizada (descontada emissão devida a queima de carvão principalmente), onde seria adequada ou não, ver o caso da maioria das áreas da América Latina, África, e do Médio Oriente, onde pode ocorrer uma redução negativa isto é um aumento na emissão de Hg.



**Figura 4 – Emissão de Mercúrio associada por países**

Fonte: MATTHEWJ. ECKELMAN, 2008.

Por esta razão, esses países em especial, devem trabalhar para criar um recolhimento eficiente de LFBU e sistemas de reciclagem para o final da vida de lâmpadas fluorescentes. Na União Européia, a utilização de Mercúrio em produtos e vários outros metais pesados é proibida pelo *Restriction of Hazardous Substances (RoHS)*, que entrou em vigor 01 de julho de 2006.

O Canadá tem uma norma em vigor desde 1990 para reduzir a quantidade de mercúrio em lâmpadas, de 80%, até o ano de 2010.

Os Estados Unidos pretendiam aumentar taxas de reciclagem de lâmpadas fluorescentes para 80% até 2009 (não foi possível averiguar se eles conseguiram chegar a esta meta). Ao atingir essa taxa para os mais de quatro bilhão de lâmpadas fluorescentes atualmente utilizadas no país, com base nestes dados iriam reduzir a quantidade do Mercúrio emitido na atmosfera a partir do tratamento e eliminação destas lâmpadas em dois terços, para uma redução total de cerca de 2 ton (toneladas) de mercúrio emitidos na atmosfera até o ano de 2010. As emissões podem ser reduzidas através de garantias contra perdas de Mercúrio durante a quebra no transporte, como revestimentos de plástico ou outros meios eficazes.

Os governos nacionais e regionais na Austrália, Brasil, Canadá, Nova Zelândia e diversos países europeus (entre outros) têm políticas que proíbem a partir de determinada data a fabricação de lâmpadas incandescentes. Em dezembro de 2007, os Estados Unidos promulgaram legislação semelhante para eliminar o uso de lâmpadas incandescentes entre os anos de 2012 - 2014.

Uma proporção significativa (em torno de 40%) das lâmpadas incandescentes atualmente vários bilhões em uso nos Estados Unidos será substituída por lâmpadas de baixa potência, lâmpadas a estado sólido, tais como diodos emissores de luz (LEDs). Mas o restante pode muito bem ser substituída por lâmpadas fluorescentes compactas de baixo teor de Mercúrio. Assumindo que a demanda por iluminação residencial cresce em uma taxa anual de 0,8%, e que em 2012 todas as lâmpadas incandescentes de maior potência serão substituídas por lâmpadas fluorescentes compactas, ainda que a taxa de reciclagem irá aumentar para 25%, e que o mix de energia não serão alterados a partir da situação atual, os Estados Unidos irá deixar de lançar cerca de 25 Mg de Mercúrio na atmosfera. O setor privado também está trabalhando para reduzir a emissão de Mercúrio das lâmpadas fluorescentes. Muitos dos maiores fabricantes de LFBU como GE, Philips Royal, Osram Sylvania, e Luzes de América reduziram níveis de mercúrio em 50% ou mais abaixo que o padrão NEMA (5 mg). Olhando para o futuro, os *E.U. Department of Energy's Vision 2020*, reuniu projetos investigadores,

fabricantes e formuladores de políticas públicas para impulsionar a eliminação de mercúrio de lâmpadas fluorescentes compactas até o ano de 2020. Estas reduções, juntamente com o tratamento adequado dos sistemas e novas tecnologias para o fim da vida pode ajudar a reduzir os impactos negativos sobre a saúde humana e ao meio ambiente.

Um levantamento junto a usuários foi realizado e os resultados (para uma amostra reduzida) está apresentado no capítulo 5.

## 5 RESULTADOS

Considerando o conteúdo abordado sobre a ACV, constata-se que se trata de um instrumento de gestão capaz de revelar quais modificações devem ser promovidas sobre um determinado bem, assim como a fase da sua vida em que tal alteração deva se aplicar, no afã de que sejam minimizados os impactos ambientais relacionados.

No que tange as lâmpadas (incandescentes e Fluorescentes compactas), estes são responsáveis por impactos ambientais nas várias fases dos seus respectivos ciclos de vida.

As lâmpadas fluorescentes compactas vêm substituindo gradualmente as lâmpadas incandescentes convencionais utilizadas há anos pelos consumidores de todo o país. Isto é devido, em parte, à maior eficiência energética do modelo fluorescente. A substituição das lâmpadas incandescentes por fluorescentes não deve ser considerada exclusivamente sobre a diminuição da potência e/ou o consumo de energia, mas também sobre todo um processo: iniciando pela fabricação, passando pelo transporte, a sua instalação, utilização e o seu descarte ou destino final. A simples comparação do consumo de energia, geralmente feito a partir da potência nominal não deve ser o único aspecto a ser levado em consideração. Países europeus e norte-americanos já incluíram as lâmpadas fluorescentes, após utilizadas, na lista de resíduos que são nocivos ao meio-ambiente, pois essas lâmpadas contêm substâncias que podem afetar seriamente a condição de ser humano, como o elemento químico Mercúrio. Aparentemente o elemento químico Mercúrio (símbolo Hg) não faz parte das lâmpadas incandescentes convencionais nem está presente ou é detectado ao longo do ciclo de vida desta fonte de luz elétrica, quando a geração de energia não possui parte com base na queima de óleos e particularmente carvão.

Após fazer um levantamento para mapear a conduta a partir de resposta a questionamento formulado junto a algumas pessoas foi constatado que dentre uma amostra composta de quinze (15) entrevistados, a maioria, treze (13) disseram que após o fim da vida as lâmpadas são acondicionadas (embrulhadas) em jornal ou em caixa de papelão e

posteriormente são jogadas diretamente no lixo residencial comum, duas (2) pessoas disseram que mantêm as lâmpadas sob sua guarda ou destinam para lugar de recolhimento apropriado. A falta de informação sobre a destinação motivou uma ação simples, que foi o meu contato junto a algumas lojas (de grande porte) que atuam no segmento de construção civil e utilidades domésticas (C&C, Conibase, Telhanorte e Leroy Merlin). Tendo sido constatado que as mesmas recolhem este tipo de lâmpada em suas lojas, sem distinção se trabalham ou comercializam a marca da lâmpada entregue, e sem a cobrança de nenhuma taxa, também informaram que posteriormente os fabricantes retiram estas lâmpadas e as levam para reciclagem. Para as quinze pessoas entrevistadas, também perguntei se elas sabiam que as lojas citadas acima recebem estas lâmpadas para a reciclagem - todas me disseram que não tinham esse conhecimento e aquelas que disseram que jogavam as mesmas no lixo comum, acredita-se, o fazem devido a falta de informação/educação.

Talvez alguns continuarão a descartar ou colocar LFBU no lixo comum, mesmo depois de saber sobre das opções disponíveis e um caminho que começa a ser construído possa ser “a valorização dos resíduos”, particularmente aqueles que podem ser perigosos ao ser humano e meio ambiente.

Este trabalho mostra através de dados coligidos da literatura que, em países como o Brasil, onde a energia vem quase que totalmente de hidrelétricas que não estão relacionadas à emissão de Mercúrio, diferentemente de países onde utiliza-se carvão como a principal fonte primária de usinas termelétricas, e que neste processo de geração de energia produz-se também quantidade significativa de Mercúrio lançado no meio ambiente: a substituição pura entre tecnologias ou redução na potencia instalada simplesmente não incorpora na “equação estudada” a {Redução de Consumo de Energia x Impacto Ambiental}. Este foco não foi levado em consideração perante o fato da crise energética na substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes. Ver tabela 2 no anexo E de um estudo feito pela fabricante de lâmpadas OSRAM que compara a quantidade de componentes e materiais utilizados durante a vida dos dois tipos de lâmpadas na Alemanha onde a energia elétrica provem em sua maioria de usinas termelétricas a carvão.

Atualmente, no Brasil, o destino final das lâmpadas fluorescentes é preocupante. Existe Decreto do Prefeito no município de São Paulo, que regulamenta o descarte de lâmpadas Fluorescentes (Lei municipal n. 14.898, de três de Fevereiro de 2009) em repartições publicas. Como já citado o programa de recolhimento e reciclagem de lâmpadas fluorescentes da escola Politécnica da Universidade de São Paulo é um exemplo a ser seguido, até a data de Maio de 2010, foram coletadas e descontaminadas 7.560 unidades de lâmpadas de distintas

potências. Segundo os resultados deste programa cada grama de mercúrio pode contaminar cerca de cinco milhões e meio de litros de água. Os cálculos no período em que foi implantado o programa já contabilizou ou reciclou 17,4 gramas de Mercúrio que seriam capazes de contaminar noventa e seis milhões e seiscentos mil litros de água.

Em entrevista conduzida junto a funcionários responsáveis pela manutenção no IEE atualmente eles recolhem as lâmpadas com problemas e as acomodam em um determinado local até que uma empresa é contratada para realizar o recolhimento. A remoção é realizada sem que se saiba qual será o destino dessas lâmpadas e particularmente do Hg nelas contido. É recomendado a toda a sociedade, em particular ao IEE, que seja adotado um programa baseado na experiência já acumulada e apresentada pela Escola Politécnica.

No IEE utilizam-se poucas lâmpadas incandescentes, assim o estudo deve focar prioritariamente a reciclagem das lâmpadas fluorescentes em fim de vida e não na substituição das lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes.

Com base nas Fases da ACV, consideradas no capítulo 2 deste trabalho, num estudo de caso para o IEE. (ver estudo detalhado no anexo D).

a) Objetivo e Escopo:

Sistematizar o processo de reciclagem de lâmpadas fluorescentes.

Identificação da necessidade de pontos de coleta.

Qualificação dos fornecedores.

Compra e instalação de coletores.

Treinamento de eletricitistas e da equipe de limpeza;

Divulgação da implantação do programa de reciclagem e dos procedimentos a toda a comunidade do IEE;

Questionamento junto a CETESB sobre a necessidade de CADRI (certificado de Destinação de Resíduos Industriais), para a destinação de lâmpadas;

Criação de indicadores e análises periódicas.

b) Inventário:

Levantamento da quantidade de pontos de lâmpadas instalados no IEE;

Quantidade de lâmpadas em estoque;

Quantidade de lâmpadas substituídas por mês;

Levantamento da quantidade de lâmpadas que foram substituídas.

c) Avaliação do Impacto:

Após levantamento dos dados coletados será feita uma análise dos mesmos.

d) Interpretação:

Com base em cada avaliação feita, conclusão sobre a eficiência do projeto deverá ser obtida.

## **6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

A substituição das lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes em sua maioria compacta reduziu significativamente o consumo de energia elétrica no Brasil, especialmente na época da crise energética de 2001, “apagão”, com essa redução o país superou momentaneamente a crise que assustava a todos. Porém com o passar do tempo essas lâmpadas fluorescentes chegaram ao fim de sua vida útil e tiveram que ser substituídas por novas lâmpadas fluorescentes. Esse consumo de lâmpadas gerou uma série de estudos em função do descarte inadequado dessas lâmpadas que contem Mercúrio e são descartadas erroneamente em sua maioria no lixo comum sem qualquer tratamento especial para que as mesmas não contaminem o meio ambiente. Tal problema levou o prefeito da cidade de São Paulo a lançar um decreto que obriga as repartições e órgão públicos a fazer a coleta adequada deste tipo de material.

Está indicado na literatura que algumas empresas de grande porte que utilizam LF, pelo menos desde 2001, já tem se adequando as legislações ambientais e as enviam a empresas especializadas em reciclagem (atualmente são onze no país), porém o consumidor residencial possui poucas informações a respeito e não sabe o que fazer com este tipo de material após utilização. A população não tem conhecimento de como deve proceder ao final do uso de uma lâmpada fluorescente seja ela de qualquer tipo (compacta ou tubular) e faz o seu descarte sem qualquer cuidado no lixo comum causando assim a contaminação do meio ambiente.

No caso das indústrias de grande porte como as multinacionais já existe na maioria delas algum tipo de programa de reciclagem para as lâmpadas utilizadas em sua dependência. Na maioria dos casos devido ao cumprimento com normas da série ISO. O grande “gargalo” para a reciclagem das lâmpadas fluorescentes esta no setor residencial que é o maior consumidor deste tipo de lâmpadas (LFBU) no Brasil. Atualmente não existe divulgação sobre qual o procedimento que deve ser tomado no caso de lâmpadas fluorescentes quando descartadas.

Este estudo mostra que ao serem substituídas em seu final de vida as lâmpadas fluorescentes não tem destino certo e a maioria da população não sabe o que fazer com as mesmas, o que acaba gerando o seu descarte de maneira inapropriada. A falta de planejamento e estudos sobre o descarte e reciclagem durante crise energética de 2001 nos

traz hoje a um cenário preocupante, vimos que, com os dados apresentados neste estudo a quantidade de energia gasta, a quantidade de Mercúrio depositado na atmosfera de maneira inadequada e a descontaminação do meio ambiente é maior do que a mesma quantidade de energia gasta se continuássemos utilizando as lâmpadas incandescentes. Esse cenário ainda não é visível, pois não existe um custo estimado de uma área contaminada por Mercúrio que foi tratada e descontaminada.

Estudos mostram que a substituição de uma lâmpada incandescente por uma lâmpada fluorescente é viável em termos energéticos e ambientais em locais onde a energia primária utilizada, provém de sua maioria do carvão como em usinas termelétricas, pois durante a queima do carvão para a geração de energia também é gerada uma quantidade expressiva de Mercúrio que é depositado na atmosfera, sendo assim uma lâmpada fluorescente que tem em torno de 20% do consumo de uma lâmpada incandescente, seria viável. Em países como o Brasil que dispõe basicamente de uma geração de energia feita por hidrelétricas a substituição só seria viável com um programa de reciclagem avançado, bem desenvolvido e com o desenvolvimento de novas tecnologias para que se reduza a quantidade de Mercúrio contida em cada lâmpada fluorescente.

Sendo assim este trabalho nos mostra que em países onde a geração de energia elétrica é provinda de termelétricas que utilizam o carvão como matéria prima, a substituição de uma lâmpada incandescente por uma lâmpada fluorescente é energeticamente e ambientalmente viável, já em países como a Brasil, Noruega ou Paraguai que utilizam uma alta proporção de energia elétrica cuja fonte primária é hidroelétrica, ou os muitos que dependem fundamentalmente do petróleo para a geração de energia térmica, segundo o trabalho a troca LFBU – incandescente convencional irá aumentar a quantidade de emissões atmosféricas de mercúrio associado com as lâmpadas fluorescentes.

Quanto à reciclagem, ainda há muito a ser desenvolvido pelo Brasil, acredito que a tecnologia existente já está de acordo com as leis vigentes porém a sua capacidade, o seu custo e a falta de informação ainda estão muito defasadas em relação ao necessário para um desenvolvimento ideal, fazer com que os consumidores tenham uma atitude consciente de devolver as lâmpadas utilizadas ao invés de descartá-las em lixos comuns.

Um importante benefício que vem da reciclagem e também o fato de que ela representa uma opção de trabalho e renda no Brasil.

A instalação de pontos de coletas em locais de fácil acesso ao consumidor é uma ferramenta importante que colabora para o descarte correto.



A conscientização da população sobre o perigo do descarte de lâmpadas que contêm Mercúrio no meio ambiente é uma necessidade identificada.

Foi demonstrado que por meio do estudo da ACV como instrumento de Gestão Ambiental, que o reaproveitamento dos bens descartados e sua manejo correto representa uma alternativa viável de melhoria de eficiência no uso de recursos naturais e na mitigação de impactos ambientais. Também foram demonstrados os benefícios da utilização das ferramentas de Gestão Ambiental de processos e de produtos.

As tecnologias existentes podem ser melhoradas a partir de constantes estudos, mas para isso a Sociedade, as Indústrias e o Governo precisam trabalhar em conjunto em busca de um objetivo comum que é a qualidade de vida, no planeta terra. O LED é uma solução para ser o iluminante substituto da GLS, atualmente do ponto de vista ambiental.

## REFERÊNCIAS

RAPOSO C., ROESER H.M. . Contaminação ambiental provocada pelo descarte de lâmpadas de mercúrio. **Revista Escola de Minas de Ouro Preto** , v.53, n.1, p. 61-67, 1964.

NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. **Environmental impact analysis: spent mercury-containing lamps a summary of current studies**. 4<sup>th</sup> ed. [s.l]: Nema, 2000.

OSRAM – Tabela 4, pg 54. Disponível em: <<http://www.osram.com>>. Acesso em: 10 fev. 2010

ATIYEL, Said Oliveira. **Gestão de resíduos sólidos: o caso das lâmpadas fluorescentes**. 2001. Dissertação (Mestrado) -Escola de Administração, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre, 2001.

DAVIS, Suzanne. **Survey and initial evaluation of small on-site fluorescent lamp crushers. Office of Pollution Prevention and Technology Development**. Department of Toxic Substances Control, 2001.

Eckelman, M.J.; Anastas, P.T.; Zimmerman, J.B. “**Spatial assessment of net mercury emissions from the use of fluorescent bulbs**” YALE, 2008.

EPUSP – POLI USP Recicla. **Gestão de Lâmpadas Fluorescentes da Escola Politécnica da USP**. 2010.

FUKOROZAKI, Luiz Alexandre Kulay. SEO, Emilia Satoshi Miyamaru. **Avaliação Do Ciclo de Vida: ferramenta gerencial para tomada de decisões**. EPUSP, 2004

GYDESEN, Annette.; MAIMANN, Dorte. **Life Cycle Analysis of Integral Compact Fluorescent Lamps versus Incandesent Lamp**. Energy and Emissions. University of Denmark. 2006.

APLIQUIM Tecnologia Ambiental. Disponível em <<http://www.apliquim.com.br>>. Acesso em: 10 fev. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA ILUMINAÇÃO. Disponível em <<http://www.abilux.com.br> > Acesso em: 10 fev. 2010.

\_\_\_\_\_. NBR 10.004: resíduos sólidos. Classificação. Rio de Janeiro, 1987a. 63p.

\_\_\_\_\_. NBR 10.005. lixiviação de resíduos. Rio de Janeiro, 1987b. 10 p.

\_\_\_\_\_. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br>>. Acesso em: 10 out 2008.

AVALIAÇÃO do ciclo de vida como instrumento de gestão. Disponível em : <<http://www.ital.sp.gov.br>> Acesso em: 28 jan 2010.

BARBIERI, José Carlos. **Gestão ambiental empresarial**: conceito, modelos e instrumento. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

CHEHEBE, José Ribamar B. **Análise do ciclo de vida de produtos**: ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

DANG, T.A.; FRISK, T.A. e GROSSMAN, M.W. Applications of surface analytical techniques for study of the interactions between mercury and fluorescent lamp materials. **Journal Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 373, p. 560-570, 2002.

LIFE cycle assessment. Disponível em : <<http://www.life-cycle.org>> Acesso em 19 out 2008.

LIFE cycle assessment of illuminants. Disponível em: <<http://www.osram.com>>  
ATIYEL; S. O. 2001

HEIJUNGS R, Guinée JB, Huppes G, Lankreijer RM, Udo de Haes HA,

HEIJUNGS, R., J.B. Guinée, G. Numerical Approaches Towards Life Cycle Interpretation.....

HUIJBREGTS MAJ Application of uncertainty and variability in LCA. Part 2. Dealing with parameter uncertainty due to choices in life cycle assessment. **Journal of Life Cycle Assessment** .v.3, n.6, p. 343–351.

CONSOLI F, Allen D et al **Guidelines for life-cycle assessment**: a ‘Code of Practice’. Brussels/Pensacola, 1993.

VIGON BW et al. **Life-cycle assessment**: inventory guidelines and principles. Cincinnati: EPA, 1993.

WEIDEMA ,BP; WESNAES, MS Data quality management for life cycle inventories. An example of using data quality indicators. **Journal of Cleaner Production** ,v.4, n.3–4, p.167–174, 1996.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/FDIS 14043**: environmental management-Life cycle assessment-Life cycle interpretation.. Geneva, 1999.

BURINI JUNIOR, E. C. **Racionalização no uso de energia elétrica**: a lâmpada incandescente. 1993. 106f. Dissertação (Mestrado em Energia)- Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (IEE/EP/IF/FEA). Universidade São Paulo, São Paulo, 1993.

BURINI JUNIOR, E. C. et al Competitividade entre as alternativas tecnológicas para iluminação. **Revista Eletricidade Moderna**, v 21, nº 234, p.26-34, set., 1993.

TECHNOLOGY transfer and absorption in developing countries: a case study of lighting in brazil In: PACHAURI, R K; BHANDARI, Preet (Ed.) Climatic Change in Asia and Brazil - The Role of Technology Transfer, Energy Research Institute, p.17-50, New Delhi, India, 1994.

BURINI JUNIOR, E. C. et al Normalização técnica para lâmpada incandescente num mercado de país em desenvolvimento: uma análise comparativa do caso brasileiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE INSTALAÇÕES, 8, 2001. **Anais**. São Paulo, 2001.

CHEHEBE, José Ribamar B. **Análise do ciclo de vida de produtos**: ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

RAPOSO, C. Contaminação ambiental provocada pelo descarte não controlado de lâmpadas de mercúrio no Brasil. 2001. Tese (Doutorado em Geologia)- Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001.

RAPOSO C.; WINDMÖLLER C.C. e DURÃO Jr., W.A. Mercury speciation in fluorescent lamps by thermal release analysis. **Waste Management**, v. 23, p.879-886, 2003.

WEGENER , Sleeswijk A et al. **Environmental life cycle assessment of products**. Leiden : CML, 1992.

CHEHEBE, José Ribamar B. **Análise do ciclo de vida de produtos**: ferramenta gerencial da ISO 14000. 1. Reimp. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Disponível em: <<http://www.cetesb.com.br>> Acesso em 02 fev 2010.

WEGENER , Sleeswijk A et al. **Environmental life cycle assessment of products**. Leiden: CML, 1992.

## ANEXOS

### ANEXO A - Capítulo VI da Constituição Federal - Meio Ambiente - Art. 225

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§ 1º - Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao poder público:

I - preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais e prover o manejo ecológico das espécies e ecossistemas;

II - preservar a diversidade e a integridade do patrimônio genético do País e fiscalizar as entidades dedicadas à pesquisa e manipulação de material genético;

III - definir, em todas as unidades da Federação, espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos, sendo a alteração e a supressão permitidas somente através de lei, vedada qualquer utilização que comprometa a integridade dos atributos que justifiquem sua proteção;

IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade;

V - controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente;

VI - promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente;

VII - proteger a fauna e a flora, vedadas, na forma da lei, as práticas que coloquem em risco sua função ecológica, provoquem a extinção de espécies ou submetam os animais a crueldade.

§ 2º - Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei.

§ 3º - As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados.

§ 4º - A Floresta Amazônica brasileira, a Mata Atlântica, a Serra do Mar, o Pantanal Mato-Grossense e a Zona Costeira são patrimônio nacional, e sua utilização far-se-á, na forma da lei, dentro de condições que assegurem a preservação do meio ambiente, inclusive quanto ao uso dos recursos naturais.

§ 5º - São indisponíveis as terras devolutas ou arrecadadas pelos Estados, por ações discriminatórias, necessárias à proteção dos ecossistemas naturais.

§ 6º - As usinas que operem com reator nuclear deverão ter sua localização definida em lei federal, sem o que não poderão ser instaladas.

A gestão ambiental (GA) é uma prática muito recente, que vem ganhando espaço nas instituições públicas e privadas. Através dela é possível a mobilização das organizações para se adequar à promoção de um meio ambiente ecologicamente equilibrado. Seu objetivo é a busca de melhoria constante dos produtos, serviços e ambiente de trabalho, em toda organização, levando-se em conta o fator ambiental.

Atualmente ela começa a ser encarada como um assunto estratégico, porque além de estimular a qualidade ambiental também possibilita a redução de custos diretos (redução de desperdícios com água, energia e matérias-primas) e indiretos (por exemplo, indenizações por danos ambientais).

## ANEXO B – Tópicos sobre o elemento químico Mercúrio

O Mercúrio é um metal com características próprias. Ele é o único metal que é líquido a temperatura ambiente tendo ponto de fusão de - 38,87 graus Celsius, e ponto de ebulição de 356,58 graus Celsius. Este metal líquido prateado é muito denso, e ainda possui uma tensão superficial alta o bastante para fazer com que o seja capaz de formar pequenas esferas perfeitas nas rochas e minerais onde é encontrado. Muitas características mineralógicas simplesmente não se aplicam ao mercúrio pelo fato dele ser líquido. Não se pode, por exemplo, definir um grau de dureza. O mercúrio não possui sequer estrutura cristalina nem plano de clivagem. Quando congelado e submetido a baixas pressões, o mercúrio forma cristais no sistema romboédrico e no sistema tetragonal se submetido a altas pressões.

O mercúrio dissolve facilmente o ouro e a prata o chumbo e metais alcalinos formando ligas relativamente consistentes conhecidas como amálgamas. No ar altera-se lentamente recobrando-se com uma película de cor cinza de óxido mercuroso. A 350°C oxida-se mais rapidamente, produzindo óxido mercúrico vermelho, HgO. É atacado pelo cloro a frio, pelo enxofre a quente, decompõe o ácido sulfúrico e o ácido nítrico. O mercúrio é obtido pela combustão do seu sulfeto ao ar livre. Seu uso industrial é bastante amplo podendo ser usado em termômetros, barômetros, lâmpadas, medicamentos, espelhos detonadores, corantes, entre outros. O mercúrio é monovalente sob forma de Hg nos compostos mercuriosos como o Hg<sub>2</sub>O e Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> e bivalente nos compostos mercúricos como o HgO e o HgCl<sub>2</sub>, HgS e Hg(CNO)<sub>2</sub>.



**Foto: Mercúrio em sua forma mineral.**

Fonte: [www.areaseg.com/toxicos/mercurio.html](http://www.areaseg.com/toxicos/mercurio.html)



## DESCRIÇÃO

Nome: Mercúrio

Símbolo: Hg

Nome Latino:hydrargirium

Cor: prateado

Número Atômico: 80

Massa Atômica: 200,59

Densidade:13,6 g/ml

Temperatura de Fusão/Ebulição: -38,87 °C / +356,58°C

Estado Físico Natural: Líquido a temperatura ambiente

Uso Industrial: Termômetros, barômetros, lâmpadas, medicamentos, espelhos, detonadores, corantes, entre outros.

Doença causada por contaminação: Hidrargiria ou Hidrargirismo, (fr. hydrargyrie ou hydrargyrisme; ing. hydrargyria, hydrargyrism). Intoxicação pelo mercúrio ou seus compostos (sobretudo pela inalação de vapores no caso de trabalhadores que manipulam compostos mercuriais), que se manifesta essencialmente por perturbações renais e nervosas.

## ANEXO C – Tópicos Coleta de lâmpadas fluorescentes

## Decreto Nº 51.456 - Coleta de lâmpadas fluorescentes

- Informações do DO - GT Meio Ambiente

Decreto Nº 51.456, que trata da coleta de lâmpadas fluorescentes defeituosas ou que não mais acendem para reciclagem e reaproveitamento em todas as dependências públicas da Cidade de São Paulo.

## DECRETO Nº 51.456, DE 3 DE MAIO DE 2010

Regulamenta a Lei nº 14.898, de 3 de fevereiro de 2009, que obriga a Prefeitura do Município de São Paulo, autarquias, órgãos municipais da administração direta e indireta e empresas municipais à coleta de lâmpadas fluorescentes defeituosas ou que não mais acendem para reciclagem e reaproveitamento em todas dependências públicas da Cidade de São Paulo.

GILBERTO KASSAB, Prefeito do Município de São Paulo, no uso das atribuições que lhe são conferidas por lei, D E C R E T A:

Art. 1º. A Lei nº 14.898, de 3 de fevereiro de 2009, que obriga a Prefeitura do Município de São Paulo, autarquias, órgãos municipais da administração direta e indireta e empresas municipais a recolher lâmpadas fluorescentes defeituosas ou que não mais acendem para reaproveitamento por meio de processo de reciclagem, fica regulamentada de acordo com as disposições deste decreto.

Art. 2º. O processo de reciclagem e reaproveitamento do material de que trata o artigo 1º deste decreto tem como objetivos:

I - a preservação do meio ambiente da degradação proveniente das substâncias tóxicas contidas no material, bem como a prevenção de danos à saúde humana;

II - o estabelecimento de um conjunto de ações e procedimentos para uma destinação apropriada do material, de forma tecnicamente segura e adequada à saúde e ao meio ambiente.

Art. 3º. A coleta, o transporte, o armazenamento, a decomposição e o descarte das lâmpadas a que se refere o artigo 1º deste decreto deverão ser feitos de forma especializada, a fim de evitar o vazamento de substâncias tóxicas.

Art. 4º. Fica criado Grupo de Trabalho com a finalidade de estudar e propor os procedimentos para viabilizar o cumprimento do disposto nos artigos 1º e 2º deste decreto, definindo premissas e diretrizes norteadoras e estabelecendo os critérios de coleta, armazenamento, transporte, descarte e reaproveitamento das lâmpadas.

Parágrafo único. Na elaboração das proposições previstas neste artigo, o Grupo de Trabalho deverá ouvir as Secretarias envolvidas.

Art. 5º O Grupo de Trabalho a que se refere o artigo 4º deste decreto será composto por um representante de cada um dos seguintes órgãos:

I - da Secretaria Municipal de Modernização, Gestão e Desburocratização;

II - da Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente;

III - da Secretaria Municipal de Serviços;

IV - da Secretaria Municipal de Coordenação das Subprefeituras.

§ 1º. A coordenação do Grupo de Trabalho caberá ao representante da Secretaria Municipal de Modernização, Gestão e Desburocratização.

§ 2º. Os órgãos mencionados nos incisos II a IV deste artigo deverão encaminhar à Secretaria Municipal de Modernização, Gestão e Desburocratização, no prazo de 10 (dez) dias contados da publicação deste decreto, a indicação de seus representantes e respectivos suplentes.

§ 3º. A participação no Grupo de Trabalho poderá ser ampliada, a qualquer tempo, com a convocação de representantes dos demais órgãos da Administração Pública direta e indireta, inclusive das autarquias e das empresas municipais.

Art. 6º. Este decreto entrará em vigor na data de sua publicação. PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, aos 3 de maio de 2010, 457º da fundação de São Paulo.

GILBERTO KASSAB, PREFEITO

JOÃO OCTAVIANO MACHADO NETO, Secretário Municipal de Modernização, Gestão e Desburocratização

Publicado na Secretaria do Governo Municipal, em 3 de maio de 2010.

GIOVANNI PALERMO, Respondendo pelo cargo de Secretário do Governo Municipal (Diário Oficial da Cidade de São Paulo, 4 de maio de 2010)

Fonte: <http://www.nossasaopaulo.org.br/portal/node/10586>

ANEXO D – Estudo de caso – Implantação do programa de Reciclagem de lâmpadas  
Fluorescentes no IEE

Gestão de Lâmpadas Fluorescentes do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP  
Implantação do projeto IEE/RECICLA

Com base nas Fases da ACV, consideradas no capítulo dois deste trabalho, num estudo de caso para o IEE temos:

Objetivo e Escopo:

Sistematizar o processo de reciclagem de lâmpadas fluorescentes utilizadas nas dependências do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, a fim de atender as diretrizes do IEE, da Universidade e as leis ambientais (tanto as existentes quanto aquelas em fase de aprovação, como a de resíduos sólidos).

O primeiro passo na implantação desse projeto será a discussão com a Diretoria do IEE junto aos seus departamentos envolvidos e a criação de uma comissão “IEE Recicla” composta pela CIPA, por docentes e funcionários e discentes indicados pela diretoria e/ou por outro mecanismo sugerido futuramente;

Realização de reuniões periódicas com todos os envolvidos para a melhoria do processo;

Identificação da necessidade de pontos de coleta em cada um dos prédios pertencentes ao IEE;

Qualificação dos fornecedores para: transporte, coleta e destinação final. (fazer um questionamento ao setor de compras do IEE onde as lâmpadas utilizadas são compradas e se o fornecedor das mesmas pode coletar e fazer a reciclagem das mesmas que por sua vez foram fornecidas por eles ou podem fazer a parte de coleta e transporte adequado até a empresa de reciclagem).

Compra e instalação de dois tipos de coletor em cada ponto que será definido (coletor para lâmpada fluorescente tubular e coletor para lâmpada fluorescente compacta), facilitando o trabalho dos eletricitistas, a coleta e o armazenamento temporário;

Treinamento de eletricitistas e da equipe de limpeza;

Divulgação da implantação do programa de reciclagem e dos procedimentos a toda a comunidade do IEE;

Qualificação dos fornecedores e tomada de preço;

Questionamento junto a CETESB sobre a necessidade de CADRI (certificado de Destinação de Resíduos Industriais), para a destinação de lâmpadas;  
Criação de indicadores e análises periódicas.

**Inventário:**

Levantamento da quantidade de pontos de lâmpadas instalados no IEE;

Quantidade de lâmpadas em estoque;

Quantidade de lâmpadas substituídas por mês;

Levantamento da quantidade de lâmpadas que foram substituídas do IEE e a quantidade provinda de outros lugares (residência de pessoas da comunidade IEE);

**Avaliação do Impacto:**

Após levantamento dos dados coletados será feita uma análise dos mesmos, como quantidade de lâmpadas que deixaram, de ir para a reciclagem podemos verificar a quantidade de produtos químicos nocivos ao meio ambiente que deixaram de ser despejados na atmosfera devido ao seu descarte inadequado. O desenvolvimento do trabalho permitirá o mapeamento e a indicação de outros impactos.

**Interpretação:**

Com base em cada avaliação feita, conclusão sobre a eficiência do projeto deverá ser obtida. A análise servirá de base para a tomada de decisões pelos membros da comissão sobre desempenho do projeto e da necessidade de sua modificação ou melhorias se assim for necessário.

ANEXO E – Tabela da quantidade componentes/materiais utilizados nas lâmpadas incandescentes e fluorescentes compactas na Alemanha.

Tabela de comparação de energia e material utilizados entre 25 lâmpadas incandescentes e 2,5 lâmpadas fluorescentes compactas (utilizado método do número de horas de vida útil 25.000 horas).

<b>Tipo de componente/material</b>	<b>Lâmpada Incandescente 40W</b>	<b>Lâmpada Fluorescente compacta 8W</b>
Média de produção de luz durante sua vida útil	345 – 420 lumens	345-420 lumens
Consumo de Energia durante sua fabricação	0,61kWh x 25unid. 15,25kWh	4,08kWh x 2,5unid. 10,20kWh
Consumo de Energia durante sua utilização	3290kWh	658kWh
Consumo de Energia por hora de funcionamento	40Wh	8Wh
Quantidade de CO2 produzida durante sua fabricação	3,5 kg CO2	2,2 kg CO2
Quantidade de CO2 produzida durante sua utilização	564 kg CO2	113 kg CO2
Quantidade de SO2 produzida durante sua fabricação	0,010 kg SO2	0,012 kg SO2
Quantidade de SO2 produzida durante sua utilização	3,5 kg SO2	0,7 KG SO2
Quantidade de PO4 produzida durante sua fabricação	0,0010 kg PO4	0,0006 kg PO4
Quantidade de PO4 produzida durante sua utilização	0,137 kg PO4	0,027 kg PO4
Quantidade de Eteno produzida durante sua fabricação	0,0009 kg Eteno	0,0007 kg Eteno
Quantidade de Eteno produzida durante sua utilização	0,20 kg Eteno	0,04 kg Eteno
Quantidade de DCB produzida durante sua fabricação	0,52 kg DCB	0,71 kg DCB
Quantidade de DCB produzida durante sua utilização	48,5 kg DCB	9,7 kg DCB
Quantidade de Sb produzida durante sua fabricação	0,020 kg Sb	0,013 kg Sb
Quantidade de Sb produzida durante sua utilização	2,87 kg Sb	0,57 kg Sb
Consumo total de energia durante toda sua vida	3305,25kWh	668,2kWh
Quantidade de mercúrio gerado durante uma vida de cinco anos na Alemanha	*26,13 mg (60W)	*5,66 mg (13W)

Tabela 2 - **Tabela da quantidade componentes/materiais utilizados nas lâmpadas incandescentes e fluorescentes compactas.**

Fonte: [www.osram.com](http://www.osram.com)

\* A quantidade de Mercúrio emitido depende da qualidade do carvão utilizado nas Usinas Termelétricas.

**Opto Semiconductors**

**OSRAM**

**Life Cycle Assessment of Illuminants  
A Comparison of Light Bulbs, Compact Fluorescent  
Lamps and LED Lamps**

Executive Summary

November 2009

**OSRAM Opto Semiconductors GmbH**  
Innovations Management  
Regensburg  
Germany

**Siemens Corporate Technology**  
Center for Eco Innovations  
Berlin  
Germany

Life Cycle Assessment of Illuminants

## Opto Semiconductors



### Table of Contents

<b>Summary</b> .....	<b>1</b>
<b>Introduction - Energy Saving with Solid State Lighting</b> .....	<b>2</b>
<b>Goal and Scope - Overview</b> .....	<b>2</b>
<b>Life Cycle Impact Assessment Method</b> .....	<b>5</b>
Primary Energy Demand .....	5
Environmental Categories .....	5
1. Global Warming Potential (GWP) .....	6
2. Acidification Potential (AP) .....	6
3. Eutrophication Potential (EP) .....	7
4. Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) .....	7
5. Human Toxicity Potential (HTP) .....	7
6. Abiotic Depletion Potential (ADP) .....	7
<b>Life Cycle Assessment of the three lamp types</b> .....	<b>8</b>
Lamp types .....	8
1. The Incandescent Bulb Classic A .....	8
2. The Compact Fluorescent Lamp Dulux Superstar .....	8
3. The LED Lamp: Parathom Classic A .....	9
Manufacturing Phase .....	9
Use Phase .....	11
End of Life Phase .....	11
<b>Results of the Life Cycle Assessment</b> .....	<b>12</b>
Primary Energy Demand .....	12
Environmental Impact Categories .....	16
1. Global Warming Potential (GWP) .....	16
2. Acidification Potential (AP) .....	17
3. Eutrophication Potential (EP) .....	17
4. Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) .....	18
5. Human Toxicity Potential (HTP) .....	18
6. Abiotic Depletion Potential (ADP) .....	19
End of Life .....	20
Sensitivity Analyses .....	21
<b>Future Outlook</b> .....	<b>22</b>
<b>Conclusions</b> .....	<b>22</b>
<b>Annex: Critical Review</b> .....	<b>24</b>



## Opto Semiconductors

### Summary

OSRAM Opto Semiconductors' study on the life cycle assessment (LCA) compared the environmental performance of three different types of lamps: a conventional light bulb (GLS), a compact fluorescent lamp (CFL) and a light-emitting diode lamp (LED lamp). In order to evaluate lamps and how they actually deal with energy and resources, it is not enough just to consider energy consumption while they are in use. The aim of this LCA is therefore to analyze the environmental impact of an LED lamp over its entire life and to compare it to a CFL and a GLS. The relevant material and energy supplies, including all input and outputs, were determined in detail for all the LED lamp's components and production processes. Apart from a detailed analysis of each individual production stage, for LED chips and lamp housings, for example, these also include all necessary transports. Apart from the primary energy and resource consumption, the impact on the environment corresponding to selected environmental impact categories, i.e. acidification, eutrophication, photochemical ozone depletion and human toxicity was evaluated.

A comparison of the life cycle of three lamp types was accomplished: a 40 W GLS, an 8 W CFL Dulux Superstar and an 8 W Parathom LED lamp.

Main findings:

- **Less than 2% of the total energy demand is needed for production of the LED lamp**

The manufacturing phase is insignificant in comparison to the use phase for all three lamps as it uses less than 2% of the total energy demand. This study has dismissed any concern that production of LEDs particularly might be very energy-intensive. Merely about 0.4 kWh are needed for production of an LED (OSRAM Golden Dragon Plus), about 9.9 kWh for the production of the Parathom LED lamp including 6 LEDs.

- **LED lamps are competitive to CFL today**

In contrast to the primary energy consumption of incandescent lamps of around 3,302 kWh, CFL and LED lamps use less than 670 kWh of primary energy during their entire life. Thus 80% of energy can be saved by using CFL or LED lamps. The bottom line is that LED lamps are more efficient than conventional incandescent lamps and also ahead in terms of environmental friendliness. Even today, LED lamps show nearly identical impact on the environment compared to CFL.

- **Future improvements of LED lamps will further cut down energy demand**

As the efficiency of LEDs continues to increase, LED lamps will be capable of saving more energy and achieving even better LCA results in future.

**This life cycle assessment proves that LED lamps are amongst the most environmentally friendly lighting products.**

## Opto Semiconductors

### *Introduction - Energy Saving with Solid State Lighting*

In March 2007, the European Council agreed to save 20% of green house gas emissions by 2020. Worldwide, almost 20% of the electricity consumption is used by lighting applications, which corresponds to 2651 TWh/year<sup>1</sup>. 70% of this energy is consumed by inefficient lamps. Thus, starting on September 1, 2009 and ending in 2016, the European legislation has planned to phase-out less efficient light sources. During this time Europeans will have to part with their conventional light bulbs, and other heavy users of electricity. Energy-efficient alternatives are urgently needed.

Solid state light sources, **e.g. light-emitting diodes (LED)**, are based on inorganic semiconductors that emit light by electroluminescence. LEDs will revolutionize modern lighting due to their unique properties such as long lifetime, colour tuneability, and instantaneous switching. Moreover, they are mercury-free. But most important: LEDs will be amongst the most efficient light sources in the near future. Today, LEDs are already five times more efficient than incandescent lamps. In the future, however, it is expected that LEDs will become more than ten times more efficient compared to incandescent bulbs. No doubt, tremendous amounts of energy could be saved which will not only reduce CO<sub>2</sub> emissions but also lower the energy bill of consumers. The Ad-hoc Advisory Group "ICT for Energy Efficiency"<sup>2</sup> stated that theoretically > 50% of the electrical energy could be saved per year in the near future by switching to LED lighting.

In order to label a new lamp technology as "green" though, it is not enough to just consider energy consumption in use. Instead, the complete life cycle covering resources, energy needed during manufacturing, transport and use as well as the end-of-life needs to be analyzed.



### *Goal and Scope – Overview*

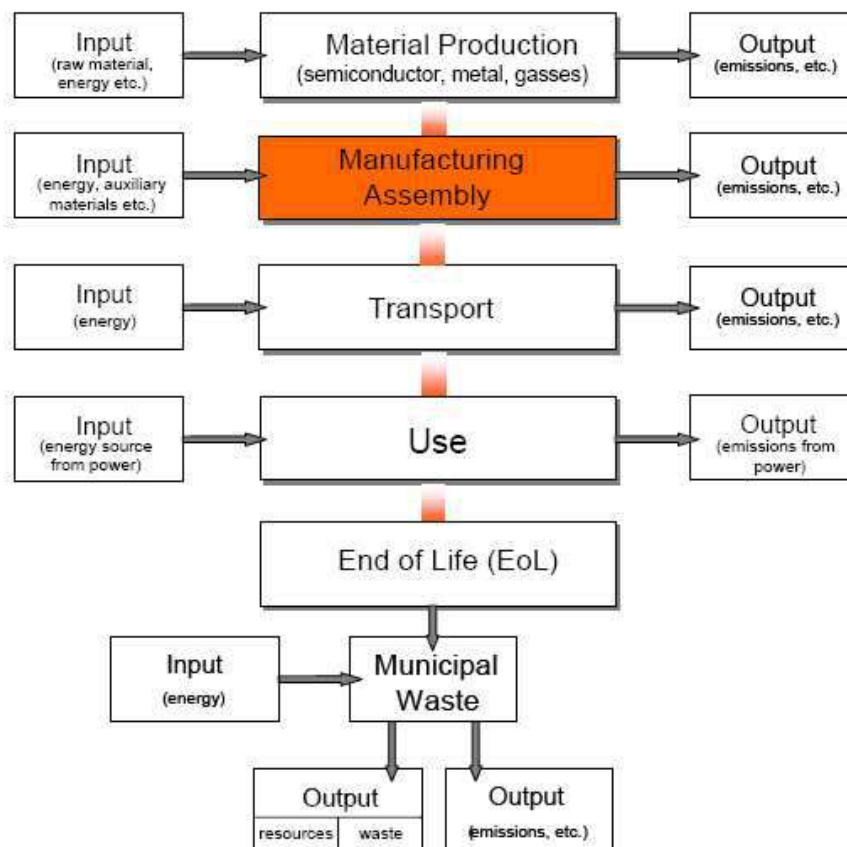
The aim of this life cycle assessment (LCA) carried out by Siemens Corporate Technology, Center for Eco Innovations, OSRAM and OSRAM Opto Semiconductors is to analyze the environmental impact of an LED lamp over its entire life and to compare it with a compact fluorescent and an incandescent lamp. An independent critical review panel was established in order to ensure compliance with ISO 14040 and ISO 14044.

<sup>1</sup> Light's Labour's Lost – Policies for Energy-efficient Lighting, International Energy Agency (2006)

<sup>2</sup> Report of the Ad-hoc Advisory Group on "ICT for Energy Efficiency" by European Commission; 2008

## Opto Semiconductors

The complete life cycle of all three light sources was carefully modeled and analyzed from start to finish. The relevant material and energy supplies were determined in detail for all components and production processes of the lamps. The impact inventories are broken down into the five life cycle stages, which are (1) raw material production, (2) manufacturing & assembly, (3) transport, (4) use and (5) end of life, shown in figure 1. The results allow for conclusions not only on resource consumption and primary energy input but also on environmental categories such as acidification, eutrophication, the greenhouse effect, photochemical ozone depletion and toxicity. The goal was to find out what environmental impact the lamps have each step of the way, and how they rank in comparison to each other.



**Figure 1: Stages investigated in the LCA of lamps**

Three types of lamps were analyzed: a 40W incandescent lamp (GLS), an 8 W DULUX Superstar compact fluorescent lamp (CFL) and an 8 W Parathom LED lamp with 6 Golden Dragon LEDs (figure 2). Common basis for the comparison was a luminous flux of



## Opto Semiconductors

# OSRAM

all lamps in a range between 345 and 420 lumen (a 40 W equivalent requires 345 lumen minimum according to IEC Norm 60064), a correlated color temperature between 2700 – 3000 K (warm white), a colour rendering index of  $\geq 80$  and a Classic A shape with E27 socket. All lamps provide comparable luminous flux and all are warm white lamps but the fact of a “cold” perception of the light from different emission spectra of the lamp types is not considered.



**Figure 2: Type of lamps compared in the Life Cycle Assessment: a 40 W incandescent lamp, a compact fluorescent DULUX Superstar and a Parathom LED lamp**

To ensure comparability of the three lamp types a lifetime of 25,000 hours was taken a reference parameter which was evened out by the number of lamps used. This way, the lifetime of 25 incandescent bulbs (25,000 hours) equals the lifetime of 2.5 compact fluorescent lamps, which equals the lifetime of one Parathom LED lamp. For comparability reasons in the study, it was assumed that all three lamps would have a light output between 345 to 420 lm during their whole lifetime, and then burn out. An extra analysis was done that took the gradual reduction of brightness into account. The difference was too small to impact results, though. Turn-on and –off cycles were excluded from the study.

The production of the GLS and CFL takes place in Europe. For the Parathom LED lamp, production of the Golden Dragon LEDs is located in Germany (frontend) and Malaysia (backend) and the production of the LED lamp in China. The location of the use phase, end of life, and any other processes was Europe.

## **Opto Semiconductors**

### *Life Cycle Impact Assessment Method*

The method for this analysis is the life cycle assessment as outlined in ISO 14040 and 14044. In order to obtain the environmental performance of the studied processes, a combination of a Life Cycle Impact Assessment (LCIA) method developed at the University Leiden, the so called CML (Centrum voor Milieuwetenschappen (Institute of Environmental Sciences)) method and key performance indicators were used. The CML method defines several impact categories for emissions and for resource consumption. This method groups by-products, emissions and resource consumption caused by these processes, into specific environmental impacts.

The primary energy demand was taken as key performance indicator. Six environmental impact categories have been chosen in this study that address impacts on air, soil and resources.

Choice and usage of the electricity mix have a high impact on LCA results. The electricity mix specifies the percentage composition of the energy carrier for a specific region. The location of production used in the study was the actual location where production normally takes place and consequently the corresponding electricity mixes (Europe, Germany, Malaysia and China) were taken into account. German and European electricity mixes consists mainly of power generation by nuclear and coal plants and of renewables, power supply in China is mainly generated by coal plants in contrast to Malaysia where it is generated mainly by natural gas. Due to this fact different electricity mixes causes different environmental burden. Usage and End of Life of all lamps are based on the European electricity mix.

### **Primary Energy Demand (CED)**

The primary energy demand or the cumulated energy demand (CED) summarizes the energy needed for the different stages of the life cycle. Primary energy is the energy embodied in natural resources, like coal, oil, sunlight, uranium etc. that has not (yet) undergone any anthropogenic transformation. Primary energy use can be measured in MJ or kWh. For lamps mainly the use of kWh is of interest. Taken the European average electricity mix into consideration, to produce 1 kWh of electricity approximately 3.3 kWh primary energy are needed.

Consequently, primary energy use can be seen as an environmental impact category, even though it is in principle an environmental inventory value (no characterization factor).

### **Environmental Categories**

The six environmental categories chosen in this study are depicted in figure 3 and explained in the following.

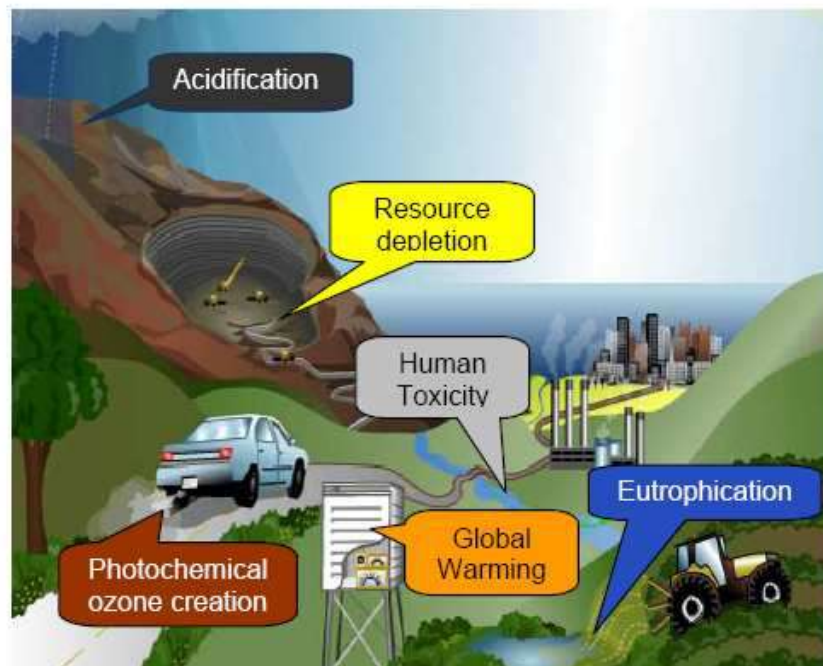


Figure 3: Environmental impact categories<sup>3</sup>

### 1. Global Warming Potential (GWP)

The Global Warming Potential (GWP) is an index to measure the contribution to global warming of a substance that is released into the atmosphere. The GWP is impacted mainly by the emission of greenhouse gases, i.e. carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and methane (CH<sub>4</sub>). It was calculated for a time frame of 100 years. The GWP is measured in CO<sub>2</sub> equivalents.

### 2. Acidification Potential (AP)

The AP calculates the loss of the nutrient base (calcium, magnesium, potassium) in an ecosystem, and its replacement by acidic elements caused by atmospheric pollution. Acidification originates from the emissions of sulfur dioxide and oxides of nitrogen. Here the AP is dominated by nitrogen (NO<sub>2</sub>) and sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) emissions. In the atmosphere, these oxides react with water vapor and form acids which fall down to the earth in the form of rain or snow, or as dry depositions. This affects soils, waters, flora and

<sup>3</sup> Source: IISI Sustainability Assessment in Internet <http://www.steeluniversity.org>



## Opto Semiconductors

fauna, and can even damage building materials. The resultant 'acid rain' is best known for the damage it causes to forests and lakes. AP is measured in SO<sub>2</sub> equivalents.

### 3. *Eutrophication Potential (EP)*

Eutrophication originates mainly from nitrogen and phosphorus in sewage outlets and fertilizers. Thus the EP is caused mainly by nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) emissions, followed by chemical oxygen demand and ammonia. Basically, EP is the build-up of a concentration of chemical nutrients in an ecosystem which leads to abnormal productivity. For example, this causes excessive plant growth like algae in rivers, which chokes aquatic vegetation and causes severe reductions in water quality and animal populations. EP is measured in phosphate (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) equivalents.

### 4. *Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)*

Ozone is protective in the stratosphere, but on the ground-level it is toxic to humans in high concentration. Photochemical ozone, also called "ground level ozone", is formed by the reaction of a volatile organic compounds and nitrogen oxides in the presence of heat and sunlight. The POCP depends largely on the amounts of carbon monoxide (CO), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), nitrogen oxide (NO), ammonium and NMVOC (non-methane volatile organic compounds). POCP also known as summer smog is measured in ethene equivalents.

### 5. *Human Toxicity Potential (HTP)*

The human toxicity potential (HTP), a calculated index that reflects the potential harm of a unit of chemical released into the environment, is based on both the inherent toxicity of a compound and its potential dose. These by-products, mainly Arsenic, Sodium Dichromate, and hydrogen fluoride, are caused, for the most part, by power consumption. These are potentially dangerous chemicals to humans through inhalation, ingestion, and even contact. Cancer potency, for example, is an issue here. The human toxicity potential (HTP) is measured in 1,4-Dichlorobenzene equivalents.

### 6. *Abiotic Depletion Potential (ADP)*

The impact category abiotic resource depletion (ADP) records the abiotic resource consumption. The value of the abiotic resource consumption of a substance (e.g., lignite,

## Opto Semiconductors

# OSRAM

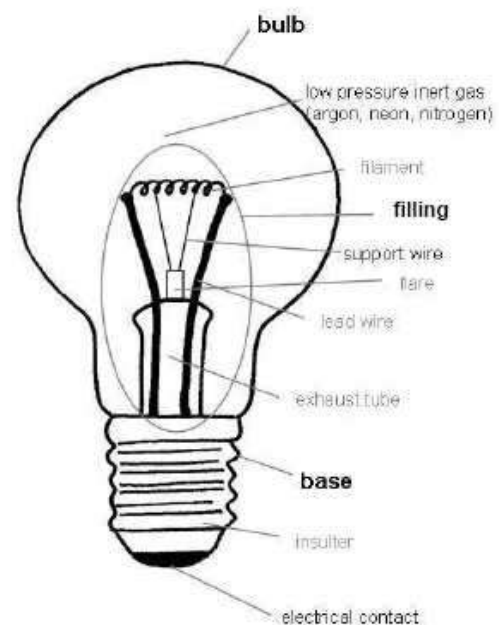
coal) is a measure of the scarcity of a substance, i.e. it depends on the amount of resources and the extraction rate. ADP is represented by natural gas, hard coal, lignite, and crude oil. It is formed by the amount of resources that is depleted. Abiotic Depletion Potential is measured in Antimony equivalents.

### Life Cycle Assessment of the three lamp types

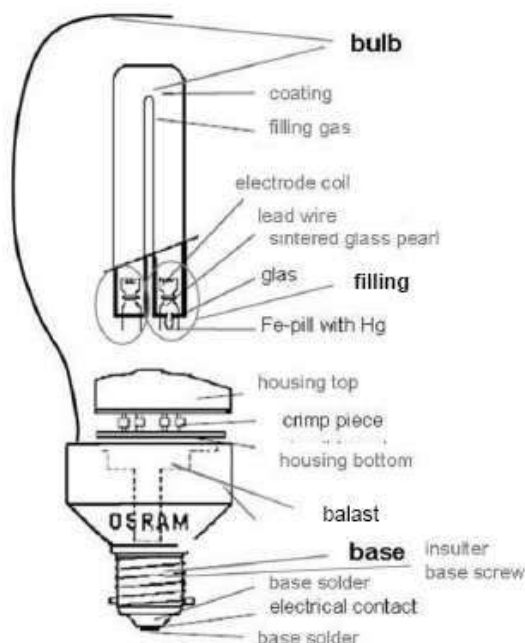
#### Lamp types

##### 1. The Incandescent Bulb Classic A

A classical incandescent bulb in use ever since Thomas Edison turned it into a product for the masses in the early 1900s was used for the comparison. The model was an OSRAM Classic A 40 W incandescent bulb.



##### 2. The Compact Fluorescent Lamp Dulux Superstar



A compact fluorescent lamp (CFL) also known as the energy saving lamp used for the comparison was the Dulux Superstar Classic A.

To ensure comparability in terms of light output a virtual 8 W model was chosen instead of 7 W usually available. A CFL (DULUXSTAR) with tube form and 8 W is part of the OSRAM portfolio.



## Opto Semiconductors

# OSRAM

### 3. The LED Lamp: Parathom Classic A

An LED lamp, the 8 W Parathom Classic A55, with six Golden Dragon Plus LEDs from OSRAM, launched in August 2009, was used in the study to for comparison to the other two lamps.

For the LEDs all data for all processes, materials and common consumption or wastages were collected at OSRAM Opto Semiconductors; for the LED lamp data were provided by OSRAM. For the GLS and CFL all data were taken from two existing studies on behalf of OSRAM. The data for core processes were taken from that two studies combined with actual data sheets provided by OSRAM.

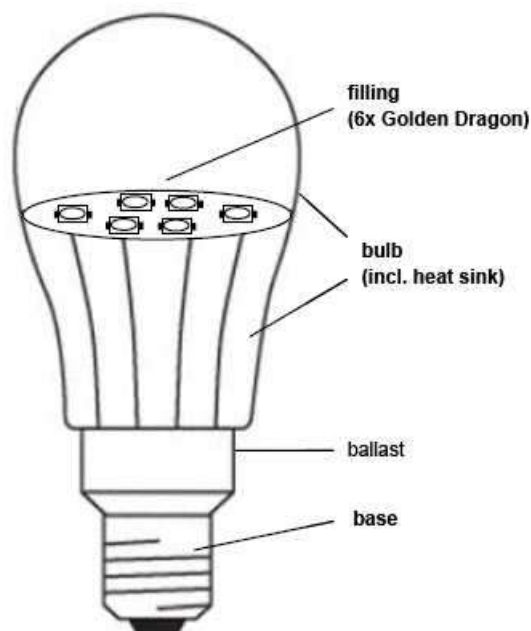
Other process and raw materials data were taken from the GaBi database<sup>4</sup> whenever possible. In cases where no information was available in GaBi, data were taken from literature<sup>5,6</sup> or from the database Ecoinvent<sup>7</sup>.

The whole lifecycle includes: Manufacturing, Use and End of Life. The phases are explained in the following.

#### **Manufacturing Phase**

All lamps are divided into parts for the base, bulb, filling, including packaging and transportation.

The packaging consists of a cardboard box, and transportation includes all transportation processes within the manufacturing phase, including transport of the final product to the customer in Europe.



<sup>4</sup> GaBi: Data Set PE International

<sup>5</sup> Study „Umweltbewertung PC-Reuse“, TU Berlin, Schichke K., Kohlmeyer R.

<sup>6</sup> Winnacker, K. & Küchler, L. (Hrsg.) (1983): Grundzüge der chemischen Technik, Anorganische Chemie 1+2, Organische Chemie 2+3, Metalle. - Carl Hanser Verlag, München - Wien.

<sup>7</sup> Ecoinvent life cycle impact assessment database, from the Swiss Centre for Life Cycle Inventories (<http://www.ecoinvent.org>), 2006, Switzerland

## Opto Semiconductors



	GLS	CFL	LED Lamp
Base	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solder</li> <li>- Screw Shell</li> <li>- Insulter</li> <li>- Basing Cement</li> <li>- Electrical Contact</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Basing Cement</li> <li>- Housing (top + bottom)</li> <li>- Glue</li> <li>- Screw Shell</li> <li>- Insulator</li> <li>- Solder</li> <li>- Electronic Ballast</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Insulator</li> <li>- Contact Plate</li> <li>- Plastic Sleeve</li> <li>- Aluminum Board</li> <li>- Electronic Ballast</li> </ul>
Bulb	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Glass</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Glass</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bulb material</li> <li>- Heat Sink</li> </ul>
Filling	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Getter</li> <li>- Filament</li> <li>- Wire (Support + Lead)</li> <li>- Exhaust Tube</li> <li>- Flare</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Filling Gas</li> <li>- Coating</li> <li>- Frame (Electrode Coil, Emission Material, Sintered Glass Pearl, Wire, Tube (Stem +Exhaust) Fe-pellet with Hg)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 6 x Golden Dragon Plus</li> </ul>

In this study, special emphasis was given to the investigation of the manufacturing of the LED itself, here the white Golden Dragon Plus. The production of the Golden Dragon (figure 4) is split up into two main process stages: frontend, where the 1 mm<sup>2</sup> semiconductor chip is fabricated, and backend, where the chip is contacted and packaged. It is essential to have a closer look at the complete manufacturing process of the LEDs as no other study did this in detail before. At OSRAM Opto Semiconductors access to the most advanced fabrication of LEDs is guaranteed. Thus these data were actually measured in the facilities in Regensburg and in Malaysia and not just assumed.

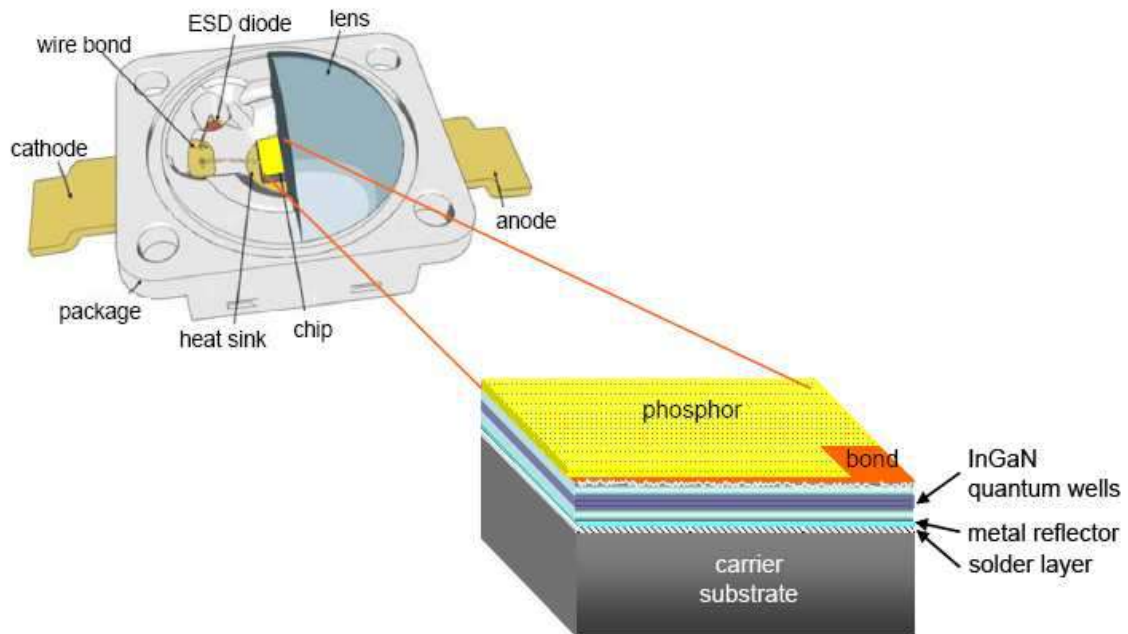
The main frontend and backend processes are shown in figure 5 and have been analyzed in detail. All processes take place in clean rooms with clean room classes from 100 up to 10,000. In a clean room class 100 a maximum of 100 particles  $\geq 5 \mu\text{m}$  are permitted per cubic foot of air. To give perspective, the ambient air outside in a typical urban environment contains more than 1,000,000 particles per cubic foot.

The frontend processes in Regensburg include epitaxial growth of the LED structures on a sapphire substrate via metal organic vapour phase epitaxy (MOVPE). Various metallization and lithography steps are necessary for depositing structured barriers, the mirror and the solder. In the thin film process invented by OSRAM Opto Semiconductors the initial substrate is replaced by a carrier substrate before chip separation.

In Malaysia the backend processes are carried out that include the deposition of the LED chip into a leadframe, wire-bonding as well as phosphor and lens deposition. All processes are accompanied by optical and electrical inspection.

## Opto Semiconductors

**OSRAM**



**Fig. 4 Schematic drawing of a white Golden Dragon Plus LED and the cross section of an LED chip**

All other components needed to manufacture the Parathom LED lamp, such as the bulb and ballast, are produced in China.

### **Use Phase**

The use phase was modeled by average processes without heating value or direct emissions. The emissions, as outcome from the use phase, are resulting only from power supply. For the use phase in Europe the power mix of the European Union was taken into consideration<sup>4</sup>. For the European average power mix, 1 kWh electricity has a CO<sub>2</sub> output of 0.55 kg.

### **End of Life Phase**

For all systems as end of life scenario incineration of household waste is modeled. Although CFL and LED lamps are obliged to be recycled professionally according to the EU Directive 2002/96/EC-WEEE, many lamps are cast away by the consumer, which is the reason why disposal in domestic waste was assumed. For the CFL and LED lamp this is not the required method of disposal as valuable raw materials can be recycled, but all



## Opto Semiconductors

lamps were treated in the same way for comparative reasons. A professional disposal is handled in the sensitivity analyses.

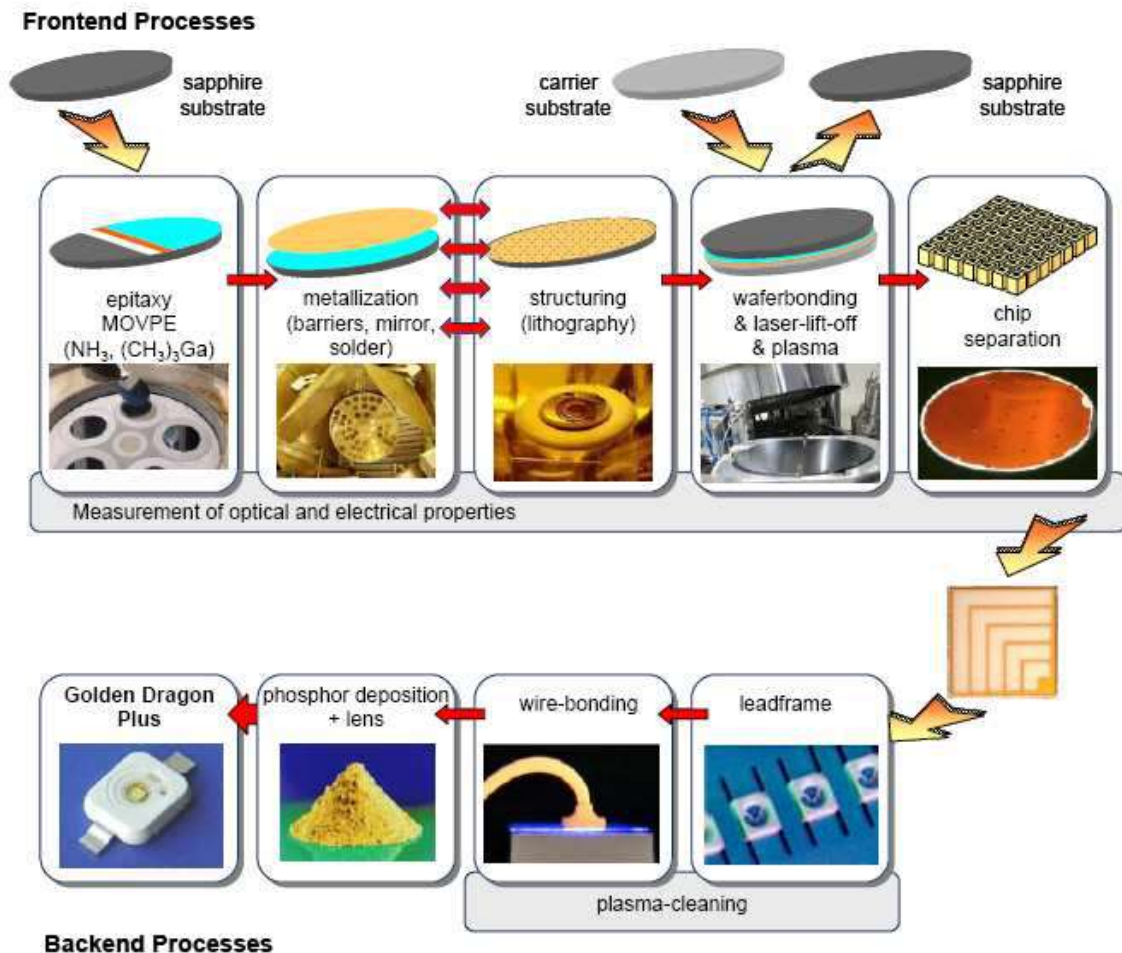


Fig. 5 Basic front- and backend processes in the manufacturing chain of a white Golden Dragon Plus

## Results of the Life Cycle Assessment

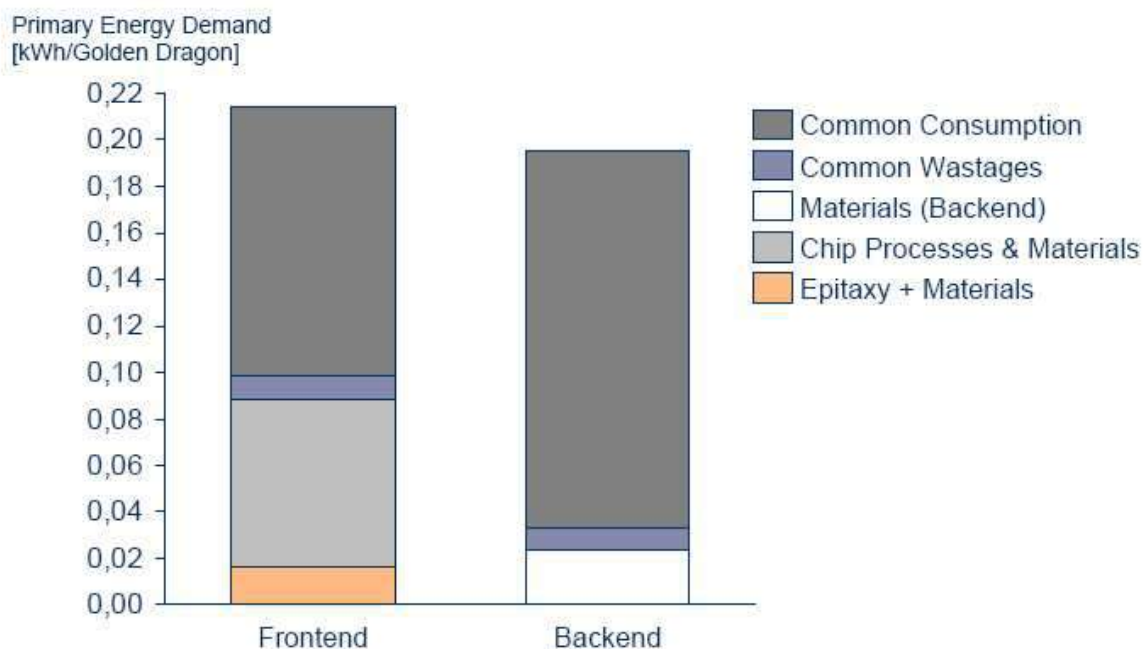
### Primary Energy Demand

The frontend processes, their energy demand and materials utilized in that processes were analyzed in detail while for the backend the materials were analyzed separately and an allocated value for common consumption was taken into account. Thus

## Opto Semiconductors

the columns for frontend and backend show different categories (figure 6). About 0.41 kWh of primary energy is needed for the production of one Golden Dragon Plus. Frontend and backend consume almost the same amount of energy. It was assumed that the production of LEDs results in 100% yield, which is not realistic. In the sensitivity analyses a worst case scenario with reduced front- and backend yields was modeled. It did not make a discernable difference in the final outcome.

The total primary energy demand for the LED lamp is 9.9 kWh. The LEDs themselves have a share of 30% of the primary energy demand of the LED lamp out of which the metals included have a dominant share. The CED of the lamp is dominated by the common power consumption for production, the large amount of aluminum required for the heat sink and the ballast.

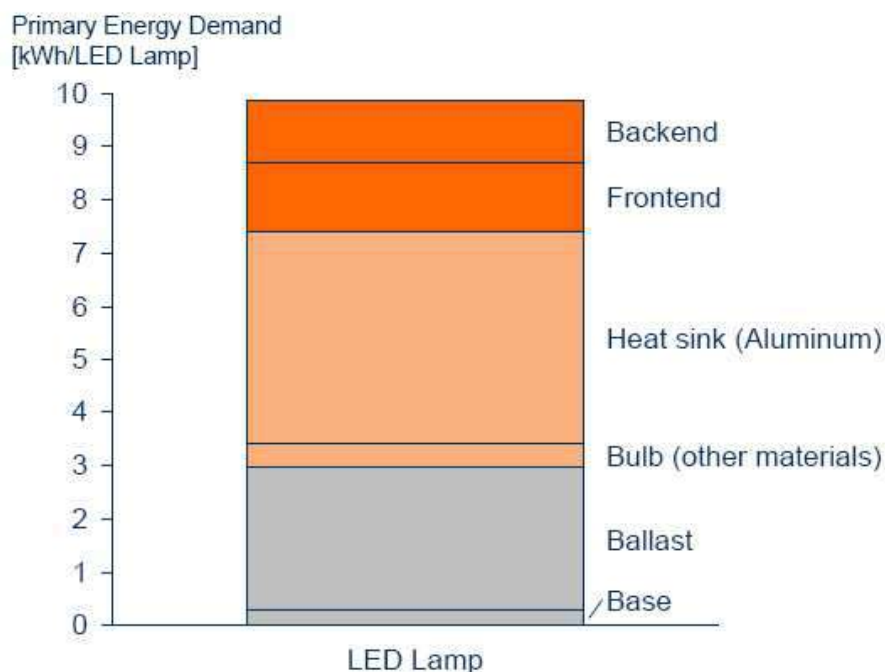


**Fig. 6 Primary Energy Demand of front- and backend manufacturing for the Golden Dragon Plus**

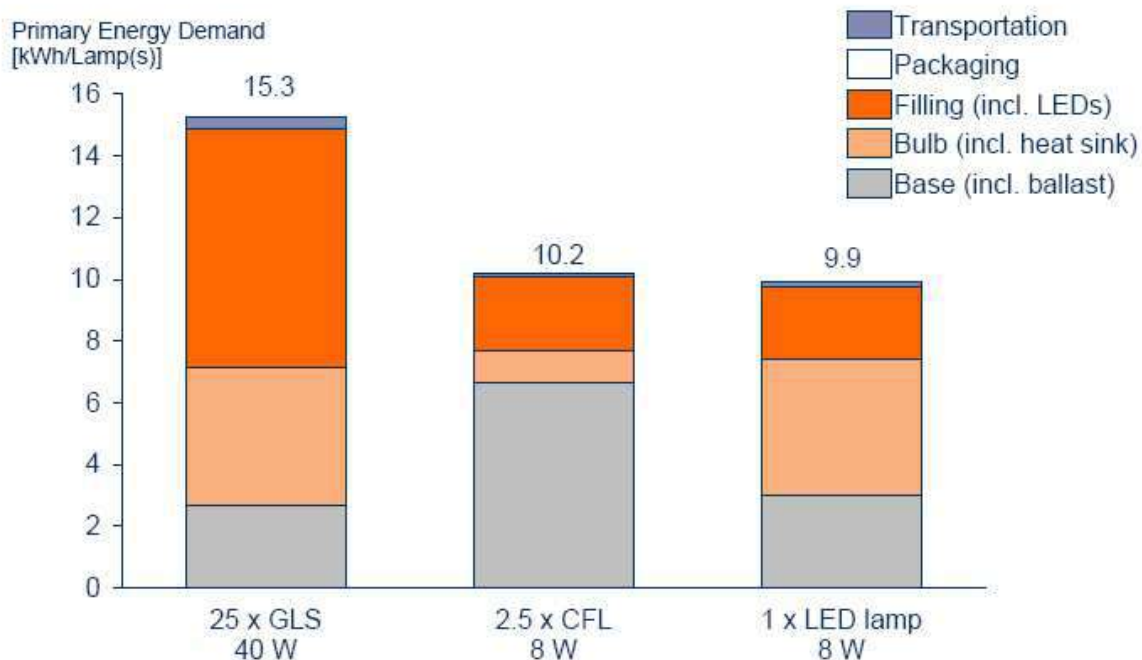
In figure 8 the primary energy demand of all three lamp types is depicted, multiplied by the number of lamps needed for a lifetime of 25,000 hours. With about 0.61 kWh the GLS consumes the lowest amount of energy during manufacturing. However, 25 bulbs are needed to compensate a lifetime of 25,000 hours and thus the GLS solution has the highest CED. CFL and LED are consuming about the same amount of primary energy over 25,000 hours.

## Opto Semiconductors

# OSRAM



**Fig. 7 Primary Energy Demand for manufacturing of the Parathom LED lamp (Transportation included)**



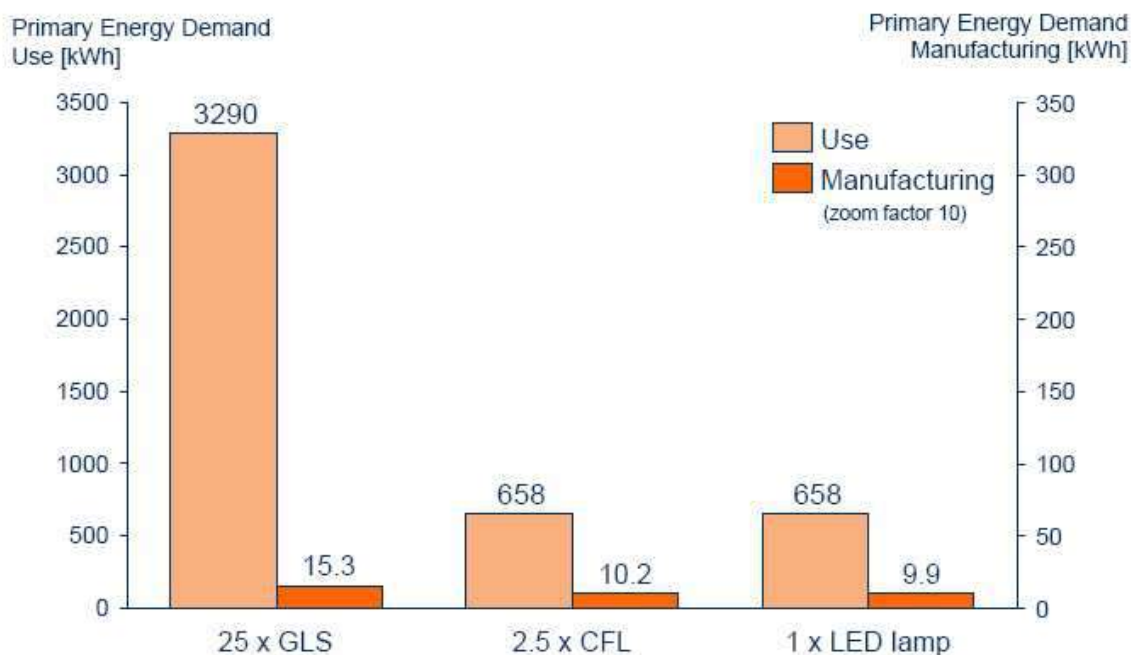
**Fig. 8 Primary Energy Demand for manufacturing of all three lamps (Transportation displayed separately)**



## Opto Semiconductors

Over the entire life cycle of the lamps, including manufacturing, use and end of life, it was found that the use phase dominates the manufacturing phase in terms of energy consumption by far. The primary energy consumption over the entire life cycle of the LED lamp and CFL is about 667 kWh, while that of the GLS is about 3302 kWh – almost 5 times more. Since the use phase of the CFL and LED lamp is dominant and they run on equal wattage, they had the same total primary energy consumption as well as electricity consumption. For electricity consumption that means: over their life of 25,000 hours the GLS consume 1000 kWh, while the CFL and the LED lamp merely consume 200 kWh of electricity, thus provide 80% saving potential.

The energy demand of the manufacturing has been zoomed out by a factor of 10 as otherwise it cannot be seen (figure 9). Less than 2% of the primary energy demand over the complete life cycle is required for manufacturing. End of Life is not depicted in the diagram, as it is not visible due to the extremely small role it plays with about 0.1% of the primary energy demand over the entire life cycle. For the GLS a credit of 3 kWh is obtained, for the CFL and LED lamp less than 1 kWh is gained. Thus the above values for the entire life cycle are achieved.



**Fig. 9 Primary Energy Demand for manufacturing and use of all three lamps**

## Opto Semiconductors



### Environmental Impact Categories

The domination of the use phase over the manufacturing phase observed for the CED was found for all environmental impact categories. Extremely high results for the GLS are caused by the high number needed for 25,000 hours, and the comparatively high wattage needed to run them. The required energy dominates the environmental impact categories. Thus the diagrams for all other CML categories (AP, EP, POCP, etc.) show the same tendency: The GLS always have very high values, while the CFL and LED have equally low results. Thus only the manufacturing phase is interpreted in the following. End of life, again, has such a minor impact that it is not depicted here.

#### 1. Global Warming Potential (GWP)

The high impact of the 25 GLS on GWP (figure 10) during manufacturing is mainly caused by aluminum in the base and power consumed in all processes. The most relevant processes for the CFL are the ballasts, most influenced by the printed circuit board and all power-consuming processes. The results for the LED lamp are influenced by aluminum as a heat sink that consumes much power during its production, and by the ballast, as well as by power-consuming processes.

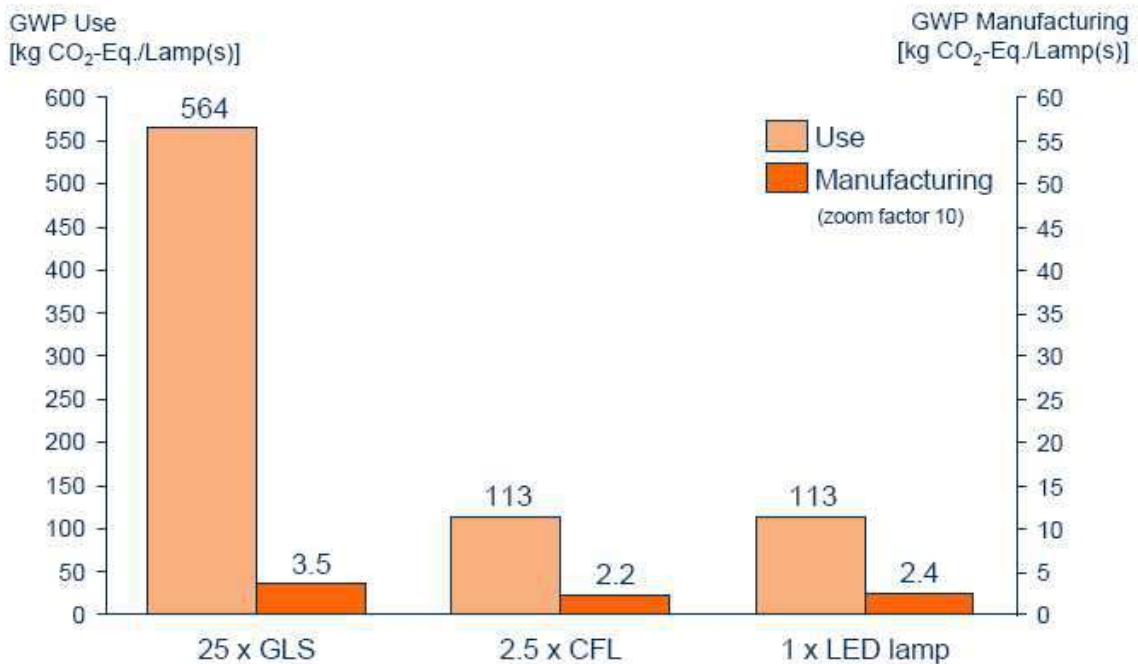
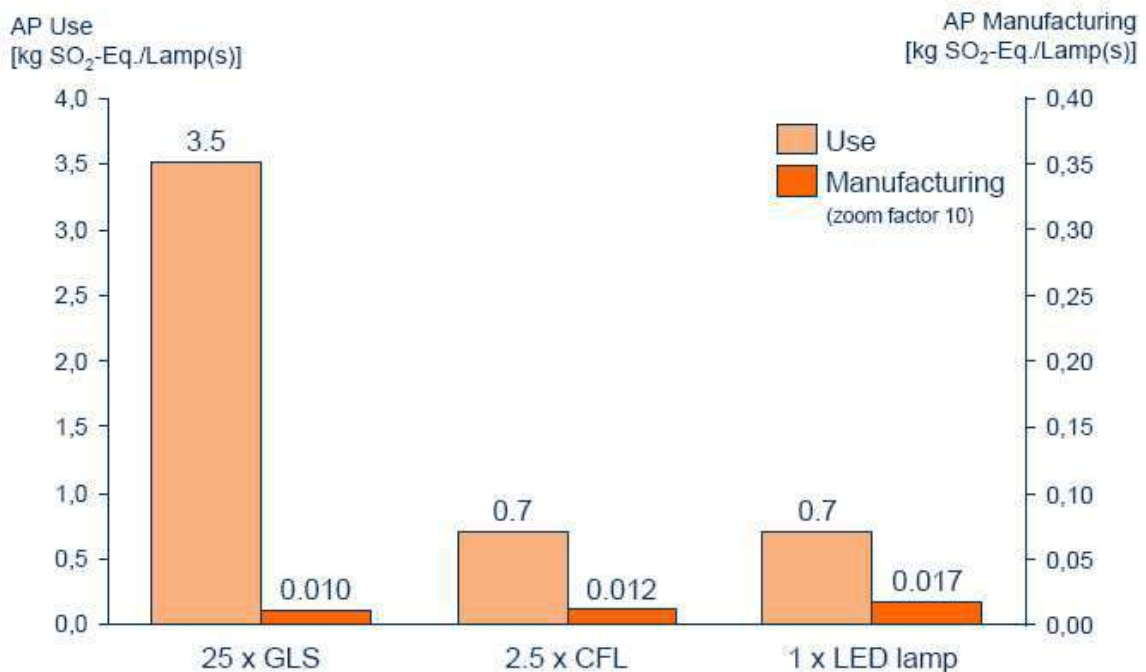


Fig. 10 Global Warming Potential for manufacturing and use of all three lamps



## Opto Semiconductors

### 2. Acidification Potential (AP)



**Fig. 11 Acidification Potential for manufacturing and use of all three lamps**

The AP for the LED lamp during manufacturing is higher than for the other two lamps. The power consumed for the production of the aluminum heat sink, ballast, metals such as gold or copper, and the bulk carrier, as well as the common power consumption were the main contributors of the LED lamp to acidification. Just like the GWP, CFL and GLS were dominated by power consumption, caused by the ballast for the CFL and aluminum for the GLS. Nevertheless, the AP during the manufacturing phase is less than 2.5% for all lamps of the overall AP over the life cycle.

### 3. Eutrophication Potential (EP)

Concerning the manufacturing phase, the EP of the GLS is worse (figure 12). Relevant contributors to the eutrophication on the LED manufacturing side are chemicals in common waste of the LED frontend process. Transportation included in the manufacturing is also a big contributor to EP.

## Opto Semiconductors

# OSRAM

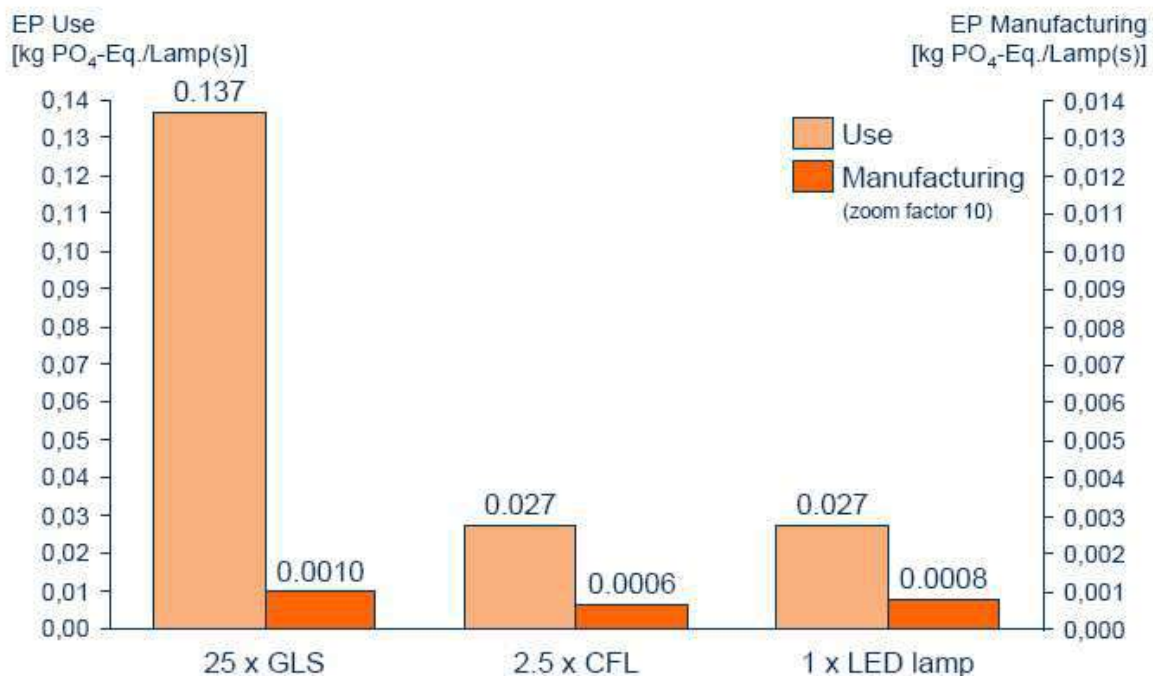


Fig. 12 Eutrophication Potential for manufacturing and use of all three lamps

#### 4. Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)

The LED lamp shows higher values for the POCP of the manufacturing phase than the other two lamps due to chemicals in common waste of the LED frontend process. However, that minor difference is negligible with respect to the use phase. Less than 2.5% accounts for the manufacturing phase compared to the POCP of the entire life cycle (figure 13).

#### 5. Human Toxicity Potential (HTP)

It must be noted that in general the HTP for the manufacturing phase of all lamps is higher compared to the other environmental impact categories (figure 14). For the CFL and LED lamp the HTP of the manufacturing phase is almost 10% of the HTP over the life cycle. The hot spots for HTP are impacted by the heat sink, gold (LED lamp), ballast and power (CFL), and insulter. The toxicity emissions are mainly caused by power consumption.

## Opto Semiconductors

# OSRAM

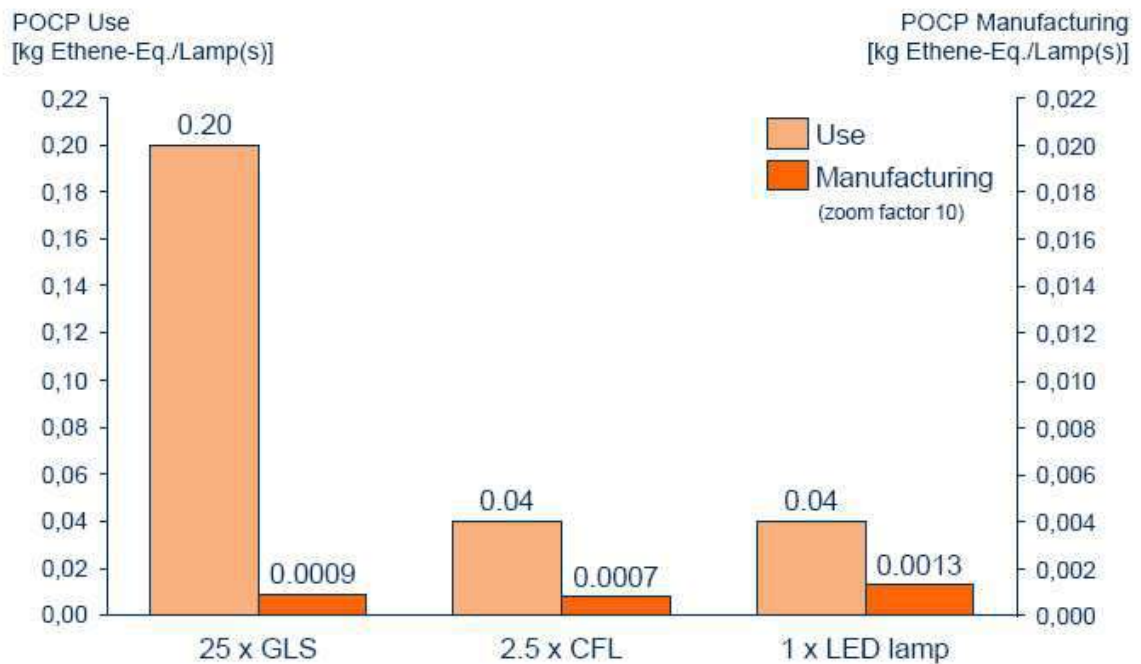


Fig. 13 Photochemical Ozone Creation Potential for manufacturing and use of all three lamps

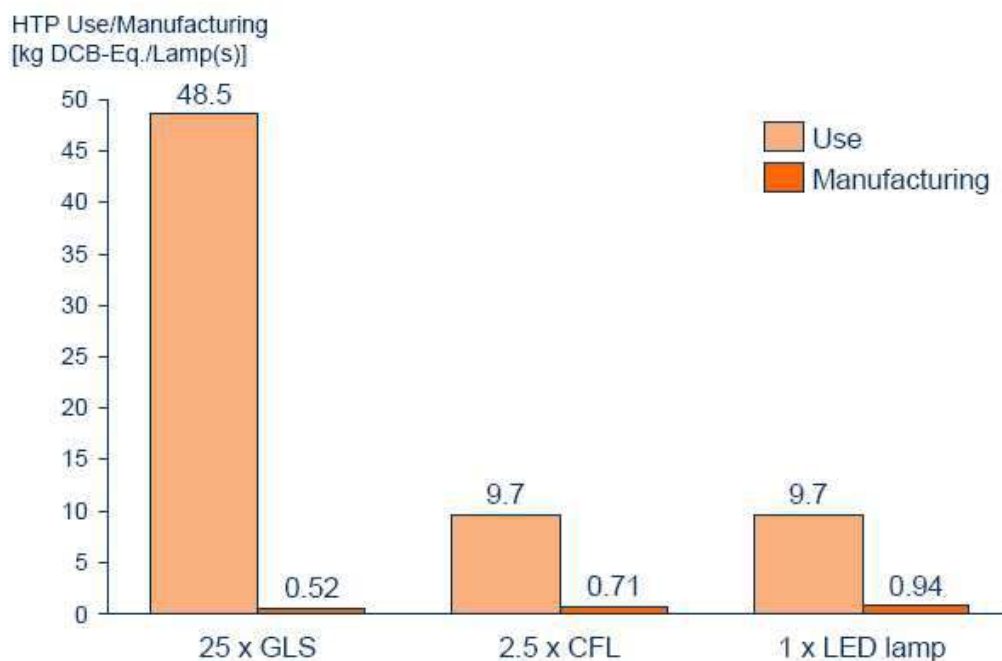


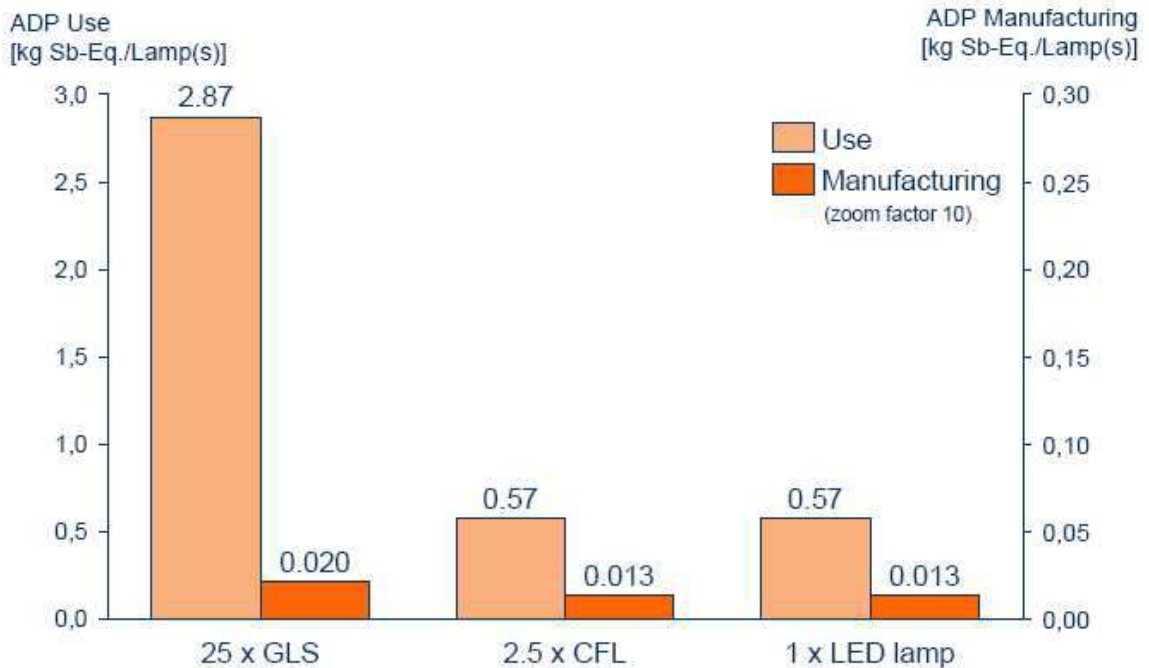
Fig. 14 Human Toxicity Potential for manufacturing and use of all three lamps

## Opto Semiconductors

# OSRAM

### 6. Abiotic Depletion Potential (ADP)

The GLS have the largest ADP values in manufacturing since the processes that consume the most power are relevant (figure 15). Consumption of coal or gas is dominant for the abiotic depletion rather than the raw materials used in the lamps.



**Fig. 15 Abiotic Depletion Potential for manufacturing and use of all three lamps**

### End of Life

End of Life, as before mentioned, is incineration for all three lamps. When a lamp is burned, residues and emissions occur but in turn electricity is won. In the study, that was taken into account by giving the electricity a credit, so that it is subtracted from the impact during use. For some categories the whole End of Life process results in a credit. This happens when the amount of electricity is larger than the residues and emissions that have potential to harm the environment. Thus a positive return of e.g. energy is achieved which results in a credit for the overall life cycle. All lamps are treated in the same way, and the quantity of impacts and credits are based on incinerated masses (25 GLS, 2.5 CFL and 1 LED incinerated). All three lamps have credits as a result of the burning process, including credits for electricity and steam. But in relation to the whole life cycle, the EoL is negligible for all lamps as less than 0.1% credit is achieved for each lamp over their life cycle. Professional recycling is treated in the sensitivity analyses.



## Opto Semiconductors



### *Sensitivity analyses*

A number of sensitivity analyses were performed in order to investigate the stability of the result. These include professional lamp disposals or yield corrections for front- end backend processing. Also heating benefits and energy mix were discussed.

In the base case of this study incineration by household waste is used for all lamps. But an LED lamp is an electronic product and must be recycled according to the EU Directive 2002/96/EC-WEEE to recycle valuable raw materials. The CFL also has to be disposed of in a professional manner, because it is an electronic device and because of the mercury inside the lamp. Although compact fluorescent lamps and LED lamps are obliged to be recycled professionally, many lamps are cast away by the consumer, which is the reason why this was analyzed in the basis scenario. Furthermore, we wanted to walk away from criticism that we were modeling an advantage for the CFL and LED. For GLS there is no professional treatment process existent.

But once again, CFLs and LED lamps have to be collected separately from household waste. Both lamps have to be treated in a professional manner.

Waste treatment is handled according to above mentioned EU Directive. The following model uses recycling of metals, and incineration of remaining mass and cardboard. That means that this modeling includes credits for the main raw materials like copper, brass, aluminum and glass, while the rest of the lamp is incinerated.

Treatment in a professional manner results in credits for the environmental categories, but over the life cycle it is still negligible. High credits are achieved for HTP and ADP because of credits for noble metals.

It was assumed that the production of LEDs results in 100% yield, which is not realistic. An analysis assuming a worst case scenario of only 40% yield in the frontend and 80% yield in the backend was done. That would result in an additional primary energy demand of the LED lamp of about 2.7 kWh. The total primary energy demand for an LED lamp is 9.9 kWh and thus increases to 12.6 kWh with this worst case yield correction. Overall even if the worst case is assumed no discernible difference in the final outcome over the life cycle is resulting.

The heating benefit of a GLS always leads to a discussion. This chapter estimates the actual benefit of heating losses during usage. By assuming 250 heating days, 1000 hours of GLS burning time per year, 75% GLS lighting during heating days, and heating with natural gas, it would lead to a reduction of 17 kg CO<sub>2</sub> over 25.000 hours. This saved amount is negligible in comparison to the whole life cycle, and there is no reason to hold on that argument. Furthermore, the heating benefit could also serve as a disadvantage when cooling is necessary.



## Opto Semiconductors

The overall result over the life cycle is dominated by the electricity mix. Taking different energy mixes into account (Energy mix China or by nuclear power) has significant impact on the results. However, as all lamps are referring to the same electricity mix and the use phase is dominant for all lamps, the ranking between the technologies was unchanged.

### *Future Outlook*

Since the LED has incredible development potential in comparison to the relatively mature CFL and GLS technologies, a future scenario was calculated. In the future, LEDs are predicted to achieve 150 lm/W for warm white and even 180 lm/W for cold white light emission. Taking into account losses in the electronic ballast and optics as well as thermal losses, an LED lamp could reach an efficacy of 100 lm/W. And that is even a more conservative assumption.

In that case a light output of 400 lm can be achieved with just 4 W of power consumption. That would cut down all values for the use phase by half. In the use phase the LED lamp would only need about 335 kWh of primary energy over its lifetime of 25,000 hours, or 100 kWh of electricity.

In the manufacturing phase, improvements are also expected: less aluminum will be needed in the heat sink in the future. Thus the LED lamp will also be the favored solution with respect to all environmental impact categories.

### *Conclusions*

The main findings of this study are:

- **Less than 2% of the total energy demand is needed for production of the LED lamp**

The manufacturing phase is insignificant in comparison to the use phase for all three lamps as it uses less than 2% of the total energy demand. This study has dismissed any concern that production of LEDs particularly might be very energy-intensive. Merely about 0.4 kWh are needed for production of an LED (OSRAM Golden Dragon Plus), about 9.9 kWh for the production of the Parathom LED lamp including 6 LEDs.

- **LED lamps are competitive to CFL today**

In contrast to the primary energy consumption of incandescent lamps of around 3,302 kWh, CFL and LED lamps use less than 670 kWh of primary energy during their entire life. Thus 80% of energy can be saved by using CFL or LED lamps. The bottom line is that LED lamps are more efficient than conventional incandescent lamps and also ahead in

**Opto Semiconductors**

terms of environmental friendliness. Even today, LED lamps show nearly identical impact on the environment compared to CFL.

- **Future improvements of LED lamps will further cut down energy demand**

As the efficiency of LEDs continues to increase, LED lamps will be capable of saving more energy and achieving even better LCA results in future.

**This life cycle assessment proves that LED lamps are amongst the most environmentally friendly lighting products.**

