



## Avaliação Ambiental Comparativa de Luminárias para Iluminação Pública

O. Sanchez Júnior <sup>a</sup>

*a. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo,  
osanchez@ipt.br*

---

### Resumo

Realizou-se a análise comparativa da fabricação de dois produtos distintos, ou seja, luminárias fabricadas por processos (fabricantes) diferentes para se obter sensibilidade e validar a aplicação da técnica da ACV para reprojeto de produtos. Seguindo-se recomendações das Normas ISO 14040, definiu-se o escopo do estudo a fim de assegurar que a sua extensão, profundidade e grau de detalhamento atendessem ao objetivo estabelecido. As entradas e saídas pertinentes a todas as fases do ciclo de vida foram registradas. Com o suporte do software GaBi 4.0, os impactos ambientais foram obtidos a partir dos aspectos ambientais inventariados. A unidade funcional foi customizada de modo a promover um ganho de sensibilidade na comparação do desempenho ambiental dos dois produtos. Os produtos foram então comparados segundo os impactos ambientais considerados. A partir das estratégias prescritas pela abordagem de *ecodesign*, identificou-se os principais pontos a serem melhorados no reprojeto dos produtos visando mitigar os impactos ambientais potenciais associados ao seu ciclo de vida e melhorar seu desempenho ambiental relativo. Com isso verificou-se o potencial da técnica como ferramenta de desenvolvimento para este tipo de produto.

**Palavras-chave:** *acv de luminárias; avaliação ambiental de luminárias, reprojeto de produtos por acv; ecodesign de produtos para iluminação.*

---

### 1 Introdução

A busca de eficiência energética no setor de Iluminação Pública (IP) tem sido objeto de esforços em várias instâncias de governo e do setor produtivo tendo em vista a necessidade de diminuir os custos e otimizar a oferta futura de energia. No entanto, a maioria das iniciativas concentra-se em procedimentos voltados quase que exclusivamente à substituição de tecnologias. Porém, outros requisitos associados à fabricação, uso e descarte de produtos poderiam ser também adotados, tais como a melhoria do desempenho para o usuário final, a diminuição de custos de fabricação e de manutenção, a mitigação de impactos ambientais decorrentes da fabricação, uso e descarte de produtos, dentre outros aspectos relacionados à gestão dos sistemas de IP. Os inventários realizados com esta função poderiam também prover informações relevantes a serem utilizadas para o projeto do produto, assim como para o planejamento de sua produção.

Verifica-se, todavia, que há uma carência de estudos dedicados à análise deste segmento de produtos industriais, em que pese o crescente interesse das empresas em atender à demanda por consumo de produtos sustentáveis. A fim de preencher esta lacuna, empreendeu-se este trabalho, que pretende dar uma contribuição às empresas fabricantes de luminárias que queiram aperfeiçoar a produção,

instalação, manutenção e descarte, além de garantir a qualidade e desempenho desses produtos ao longo de sua vida útil.

## 2 Método

O estudo apoiou-se no método experimental. As metodologias e ferramentas de *Ecodesign* podem ter diferentes abordagens: qualitativas, semi-quantitativas e quantitativas. Existem diferentes tipos de ferramentas, desde listas de verificação até metodologias de avaliação de ciclo de vida, softwares de simulação de processos e bases de dados extensivas de materiais e processos. Neste estudo, foi utilizada a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), abordagem quantitativa que pode ser realizada por meio de ferramenta computacional.

As etapas realizadas são descritas a seguir (conforme norma ABNT NBR ISO 14040):

**Etapla 1:** Definição do Objetivo e Escopo.

**Etapla 2:** Análise do Inventário.

**Etapla 3:** Avaliação de Impacto Ambiental.

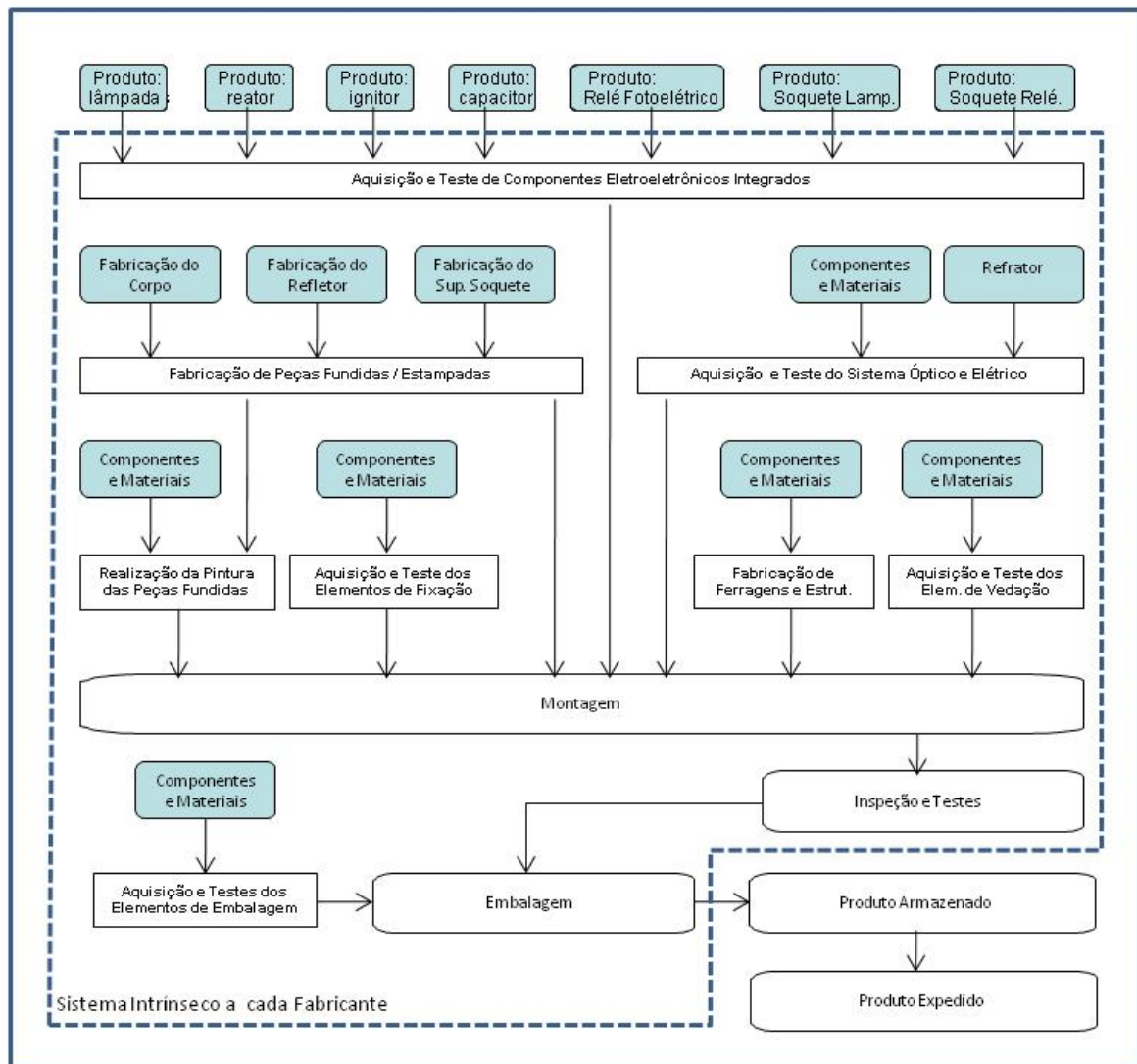
**Etapla 4:** Interpretação.

Optou-se pela utilização do software GaBI devido ao custo final de aquisição, à versatilidade na configuração de processos, à escalabilidade (permite desmembrar processos genéricos em subprocessos específicos) e por conter a matriz energética brasileira em sua base de dados. Este software permite aplicar e comparar alguns modelos avaliadores de potenciais impactos ambientais amplamente conhecidos tais como o Eco-Indicador (EI 99), dentre outros. Além disso, auxilia o pesquisador a lidar com um conjunto amplo de informações e na modelação do ciclo de vida do produto. Calcula os balanços de diferentes alternativas, possibilitando a agregação e análise dos resultados. Além da avaliação de ciclo de vida, fornece as seguintes facilidades: contabilização do efeito de estufa; engenharia do ciclo de vida; estudo da eficiência energética; análise do fluxo material; balanços ambientais; relatórios ambientais; relatórios de sustentabilidade; avaliação de risco; avaliação de custos.

## 3 Apresentação e Análise dos Resultados

### 3.1 Fluxograma de processos na fabricação

O fluxograma da figura 1 apresenta o escopo da análise da fase de fabricação de luminárias para IP, que corresponde ao sistema intrínseco a cada fabricante (área definida pelo polígono tracejado). Os componentes padronizados, adquiridos de outros fabricantes e que são essenciais para integrar o produto, não estão sujeitos a alterações possíveis de ocorrer dentro do sistema produtivo. Uma vez feita a sua especificação e aquisição, foram integrados conforme prevê o plano de fabricação. Pelo fluxograma é possível verificar a origem de cada componente do produto gerado.



**Fig. 1** – Fluxograma da Fabricação de Luminárias Públicas Explicitando o Sistema Intrínseco a cada Fabricante.

### 3.2 Amostra

Para viabilizar o teste de validação do inventário dos fluxos de fabricação, com alguma sensibilidade, optou-se pela análise comparativa entre dois produtos utilizados comercialmente em larga escala para instalações de iluminação pública na Região Metropolitana de São Paulo. Para ambos, as exigências de instalação (modo de instalar) são idênticas e as lâmpadas utilizadas são as mesmas, ainda que o resultado de seu uso (fluxo luminoso emitido pela luminária) sejam diferentes e dependentes do projeto das luminárias. Este aspecto torna-se relevante uma vez que a quantidade de equipamentos utilizados para obter um mesmo resultado para o projeto luminotécnico é diferente. A figura 2 apresenta as luminárias utilizadas para a validação do inventário, sem a indicação dos respectivos nomes de fabricantes e modelos de fabricação.



**Fig. 2** – Luminária A (esquerda) e Luminária B (direita) para análise comparativa.

As luminárias foram desmontadas e mediou-se a massa de cada componente, identificando-se o material constituinte. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 1, onde a massa dos componentes e materiais das luminárias A e B são apresentadas de forma agregada por subsistema.

**Tabela 1** – Massas por Subsistemas das Luminárias.

Subsistema	Luminária A (g)	Luminária B (g)	Difer. (%)
I. Elementos de Fixação	161,0	110,3	31,5
II. Peças Fundidas	4.976,0	3.686,9	25,9
III. Ferragens e Estruturas	520,8	342,9	34,2
IV. Elementos de Conectorização Elétrica	78,4	49,0	37,5
V. Elem. de Vedação e Dissipação de Calor	118,6	77,5	34,7
VI. Pintura	78,0	72,8	6,7
VII. Elementos de Embalagem	858,0	629,0	26,7
VIII. Componentes do Sistema Óptico	1.257,5	683,1	45,7
IX. Componentes Eletroeletrônicos Integrados	3.750,4	3.457,0	7,8
Massa total:	11.798,7	9.108,5	22,8

### 3.3 Unidade Funcional

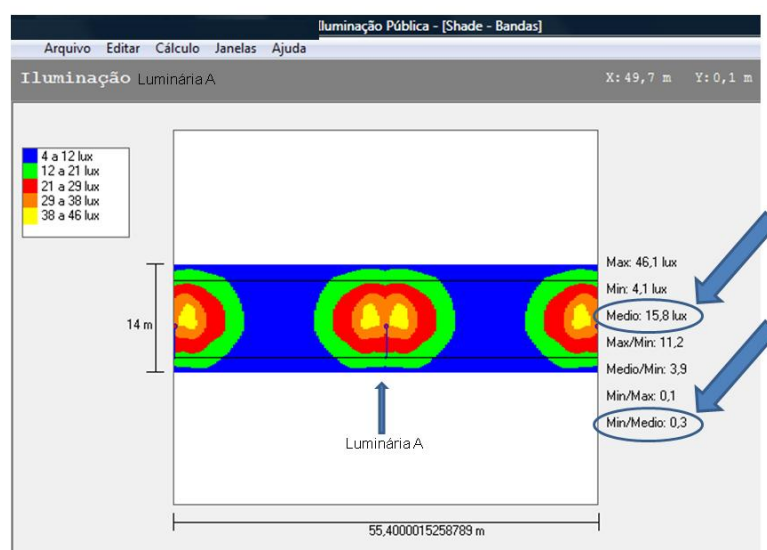
Os demais processos presentes ao longo do ciclo de vida do produto foram modelados de forma simplificada, a fim de incorporar na análise os efeitos das opções realizadas no âmbito do seu projeto.

A Unidade Funcional para a ACV (conjunto de requisitos definidos para análise do desempenho funcional dos produtos) foi definida como o **“Serviço de iluminação de uma via pública normal de 500 metros de comprimento, com 10 metros de largura, com calçadas de 2 metros nas laterais, luminárias instaladas a 8 metros do solo com braço de 4 metros, funcionamento durante 12 horas contínuas diárias no período noturno, durante vinte anos, com iluminância média mínima de 14 lux ao longo da via, com uniformidade mínima de 0,2 (tráfego noturno médio de veículos e tráfego noturno intenso de pedestres, conforme norma ABNT NBR 5101/92).”**

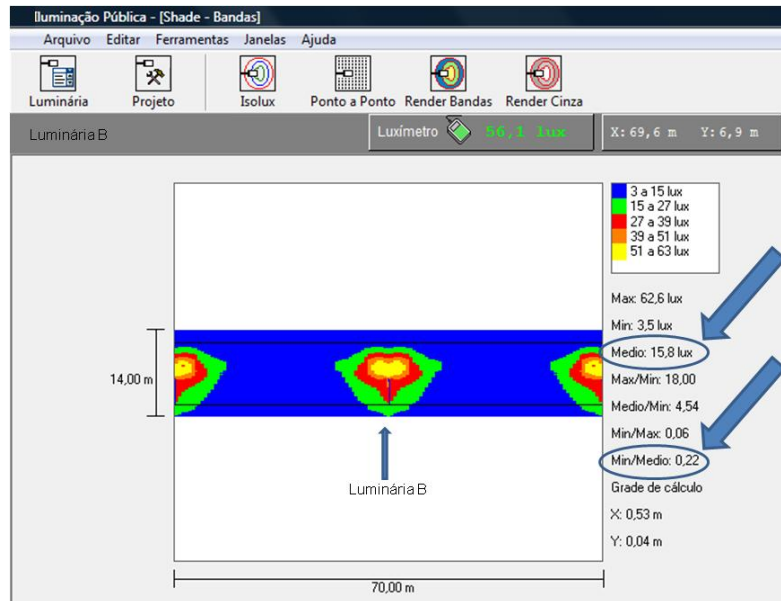
Para atender aos requisitos da unidade funcional, foi necessário simular um projeto luminotécnico com utilização de cada luminária a ser analisada. Este projeto luminotécnico foi implementado com as ferramentas fornecidas pelo respectivo fabricante de cada luminária (software de projeto luminotécnico específico).

Com este projeto luminotécnico customizado para cada luminária foi possível definir a quantidade de luminárias necessárias para atender aos requisitos da Unidade Funcional. O dado mais relevante é que, dividindo-se o comprimento da via a ser iluminada pela distância entre postes customizada foi obtida uma constante de ponderação das massas inventariadas para a Luminária A (C=18,18) e para a Luminária B (C=14,28) e, conseqüentemente, das emissões e dos impactos relativos à fabricação de cada uma delas.

As figuras 3 e 4 apresentam o resultado final do projeto luminotécnico customizado para cada luminária. Observa-se a “distância entre postes” diferente para cada luminária.



**Fig. 3** – Tela de bandas Isolux para o projeto luminotécnico com a Luminária A revisado.



**Figura 4** – Tela de bandas Isolux para projeto luminotécnico com a Luminária B.

Para o modelamento do ciclo de vida do produto, conforme já citado, foi utilizado o software Gabi 4. Para a implementação da estrutura e parametrização dos fluxos de materiais e energia no ambiente GaBi 4.0 foram assumidas as hipóteses a seguir:

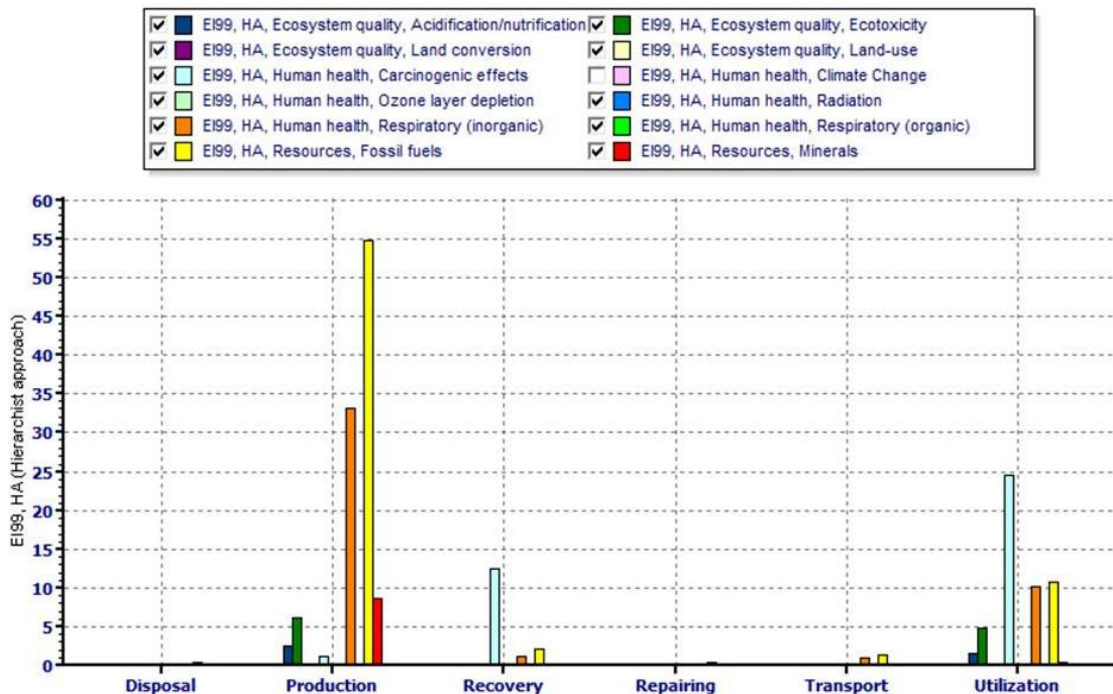
- Vida útil do equipamento de 20 anos (conforme ABNT NBR IEC 60598-1, 1999) sendo 12 horas diárias ligado e 12 horas diárias desligado (consulta ao Departamento de Iluminação Pública da Prefeitura Municipal de Guarulhos);
- Vida útil média de uma Lâmpada vapor de sódio: 16.000 horas (Procel Reluz, 2004);
- Vida útil média de um refrator de policarbonato: 5 anos (Procel Reluz, 2004);
- Vida útil média de um refrator de vidro temperado: 10 anos (consulta ao Departamento de Iluminação Pública da Prefeitura Municipal de Guarulhos);
- Luminárias A e B consideradas com a mesma vida útil nominal;
- Os fluxos não consideram as perdas de materiais no seu processamento quando são manipulados dentro da fabrica;
- Distancia de referência para calculo das emissões com transporte: 700 km (ida e volta = 1400 km), refere-se a uma distancia media que atenderia 70% do mercado consumidor, localizado nas regiões sul e sudeste (Abilux, 2005);
- Postes, Ferragens para fixação de luminárias e interligações elétricas desconsiderados para focar a análise apenas sobre as luminárias;
- Índice de recuperação de luminárias: 20% das luminárias descartadas podem ser recuperadas (consulta ao Departamento de Iluminação Pública da Prefeitura Municipal de Guarulhos);

- Manutenção de Luminárias: é necessário prever a adição de 20% de Luminárias Montadas recuperadas, sem embalagem, e 10% de Luminárias Expedidas, com embalagem (consulta ao Departamento de Iluminação Pública da Prefeitura Municipal de Guarulhos);

Com a implementação dos fluxogramas representativos do ciclo de vida das luminárias, o software GaBi 4.0 permite a emissão de um relatório com as emissões (aspectos ambientais) associadas ao ciclo de vida das luminárias modelado. Os impactos ambientais gerados pelas emissões também foram modelados pelo GaBi 4.0, com a aplicação do modelo prescrito pelo método EI99 (na sua versão padrão que hierarquiza os impactos), para cada fase modelada.

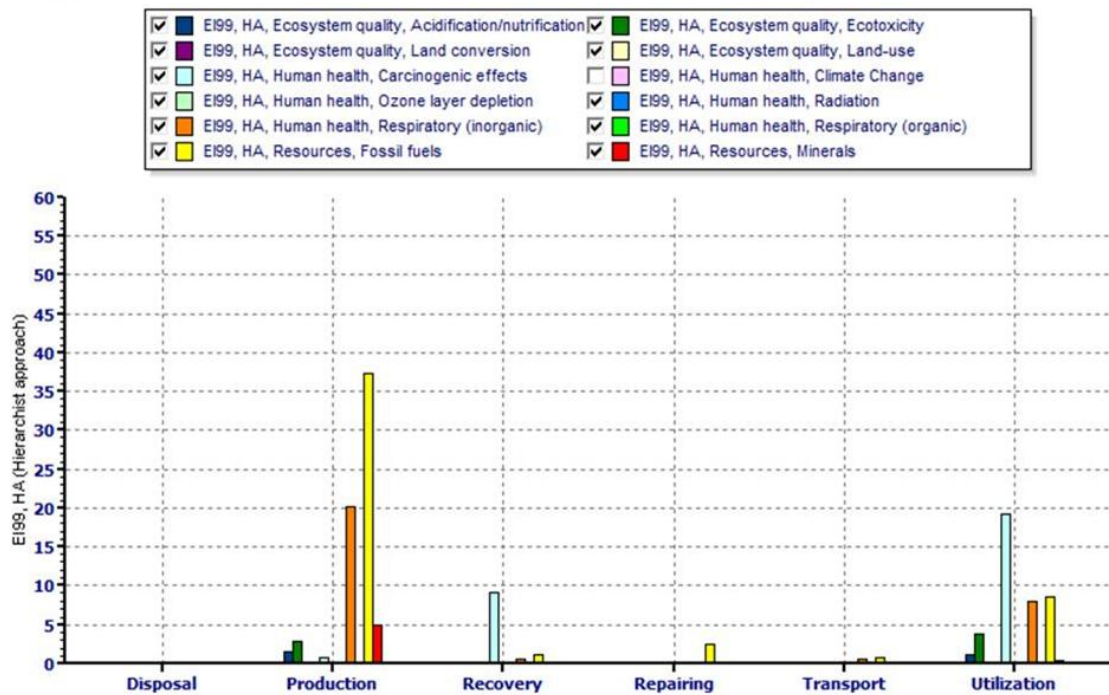
### 3.4 Impactos Ambientais Gerados

Os impactos gerados pelo ciclo de vida das Luminárias A e B, avaliados, normalizados e ponderados pelo método EI99, para o modelamento sem postes e cabos, considerando-se a Unidade Funcional definida, podem ser visualizados pelas figuras 5 e 6. Para obter melhor sensibilidade na visualização, neste conjunto excluiu-se o impacto devido às mudanças climáticas (maior impacto que ocorre na fase de utilização do equipamento, que pode ser analisado separadamente e inclui os efeitos devido à emissão de gases de efeito estufa) para permitir a visualização dos demais impactos numa escala mais apropriada. Uma das facilidades de uso do método EI99 é que ele permite agregar os dados de todas as fases do ciclo de vida de forma a visualizar os impactos pontuados por todas elas. Em tese, isso representa o perfil ambiental associado ao produto considerado. O software GaBi 4.0 tem esta funcionalidade e este recurso foi utilizado.



**Fig. 5** – Impactos gerados pelo ciclo de vida da Luminária A, avaliados, normalizados e ponderados pelo método EI99, sem o impacto Mudanças Climáticas, sem postes e cabos.





**Fig. 6** – Impactos gerados pelo ciclo de vida da Luminária B, avaliados, normalizados e ponderados pelo método EI99, sem o impacto Mudanças Climáticas, sem postes e cabos.

Para verificar a aplicabilidade da técnica de ACV na avaliação do desempenho ambiental de luminárias públicas, da forma proposta, os resultados foram analisados comparando-se sempre os dados da Luminária A com os dados da Luminária B.

Os fluxos de massa associados à fabricação de uma unidade da Luminária A frente à Luminária B podem ser comparados pelos seguintes dados:

- a massa total de materiais utilizados na fabricação de uma unidade da Luminária A (11,799 kg) é razoavelmente maior do que a massa total daqueles utilizados na fabricação de uma unidade da Luminária B (9,108 kg);
- a massa do principal material não renovável utilizado na fabricação (alumínio fundido) é consideravelmente maior para a Luminária A (4,976 kg, 42% do total) do que para a Luminária B (3,687 kg, 40% do total);
- a quantidade de itens (peças) utilizadas na fabricação da Luminária A (104 itens) é semelhante ao número de itens utilizado na fabricação da Luminária B (92 itens);

Quanto às emissões geradas na fabricação, pode-se afirmar que a massa total das emissões calculadas da Luminária A (1.490,429 kg) é razoavelmente maior do que a massa total daquelas verificadas para a Luminária B (1.212,255 kg). O desempenho ambiental para o ciclo de vida da Luminária A frente à Luminária B, considerando os requisitos da Unidade Funcional Definida, pode ser evidenciado pelos seguintes dados:



- a quantidade de Luminárias A (C=18,18) a ser utilizada para obter o desempenho necessário ao projeto luminotécnico é razoavelmente maior do que a quantidade de Luminárias B (C=14,28);
- a energia total consumida calculada para a fabricação da Luminária A (450.307,98 MJ ou 125.086,55 kWh) é razoavelmente maior do que a energia consumida calculada para a Luminária B (351.770,73 MJ ou 97.714,87 kWh);
- considerando o ciclo de vida customizado (excluindo o fluxo de materiais de fabricação de postes, ferragens e cabos de interligação elétrica), introduzido para agregar mais sensibilidade à análise, a massa total das emissões calculadas para o ciclo de vida, considerando a Unidade Funcional definida, são maiores para a Luminária A (304.776,086 kg) do que aquelas verificadas para a Luminária B (235.382,323 kg);
- considerando o ciclo de vida customizado (excluindo o fluxo de materiais de fabricação de postes, ferragens e cabos de interligação elétrica), introduzido para agregar mais sensibilidade à análise, a energia total consumida calculada para a fabricação da Luminária A (347.367,402 MJ ou 96.491,717 kWh) é razoavelmente maior do que a energia consumida calculada para a Luminária B (269.070,81 MJ ou 74.742,49 kWh).

Portanto, os impactos calculados pelo método EI99 para o ciclo de vida das luminárias analisadas, considerando a Unidade Funcional definida, são todos maiores para a Luminária A, inclusive quando se exclui da análise o fluxo de materiais utilizados na fabricação de postes, ferragens e cabos de interligação elétrica.

#### 4 Conclusões

A análise dos dados realizada no item anterior demonstra que a aplicação da técnica é efetiva para o propósito da comparação do desempenho ambiental de dois produtos destinados à mesma função; no caso, luminárias para iluminação pública.

Em que pese a necessidade de se estabelecer hipóteses para viabilizar o modelamento do ciclo de vida dos produtos, como os parâmetros de configuração no ambiente do software de suporte valem para os dois produtos, a comparação fica restrita às características intrínsecas dos produtos, justamente aquelas inventariadas e que estão associadas ao seu projeto e concepção.

Após percorrer todos os passos definidos nos procedimentos metodológicos e após a análise dos resultados gerados pode-se extrair as conclusões listadas a seguir.

- Com algumas restrições, **a técnica de ACV é aplicável à avaliação do desempenho ambiental de luminárias para iluminação pública** fabricadas no Brasil, desde que se estabeleçam claramente os procedimentos e parâmetros a serem utilizados para a esta avaliação;
- Do ponto de vista da gestão ambiental, grandes consumidores e fabricantes poderão, como demonstrado, utilizar a técnica como suporte para ações que visem diminuir custos de produção, instalação, manutenção e descarte, além de garantir o desempenho desses produtos ao longo de sua vida útil.
- A técnica fornece um roteiro relativamente simples para identificar os principais aspectos ambientais, causadores dos principais impactos ambientais relacionados à fabricação, uso (incluindo consumo de energia) e descarte de

luminárias públicas e, com isso, permite planejar as atividades de modo a mitigá-los;

As conclusões acima abrem alguns caminhos potenciais para a aplicação da técnica, em função de oportunidades de mercado identificadas junto a fabricantes associados da Abilux.

Dentre as limitações citadas na literatura (GIANNETTI; ALMEIDA, 2006; CHEHEBE, 1997), entendemos que a mais prejudicial para a aplicação da técnica no presente caso foi a ausência de dados de processos produtivos brasileiros. No surgimento de uma legislação específica de rotulagem ambiental para este segmento produtivo, por exemplo, haverá dificuldades para padronizar as análises, pois não há dados públicos suficientes de todos os subprocessos que ocorrem nas fabricas. Destacam-se ainda as limitações relatadas a seguir.

- Como no presente trabalho o inventário se restringiu ao levantamento de componentes e materiais identificados a partir da desmontagem do produto acabado, os dados foram objetivos e relativamente fáceis de obter. No entanto, os processos utilizados na fabricação não foram inventariados e, conseqüentemente, não puderam ser avaliados.
- A identificação correta dos materiais é um aspecto que pode introduzir erros de análise. Para um caso de dúvida, o procedimento mais indicado seria caracterizar a constituição química do material, o que pode tornar a técnica onerosa financeiramente e muito demorada.
- A escolha da Unidade Funcional teve o papel de revelar a importância do desempenho funcional das luminárias e garantir a vinculação da análise a um problema concreto, muito comum nos serviços públicos de iluminação.

## Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Iluminação Pública - Procedimento**, ABNT NBR 5101. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**, ABNT NBR ISO 14040. Rio de Janeiro: ABNT, 2009 a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações**, ABNT NBR ISO 14044. Rio de Janeiro: ABNT, 2009 b.

CHEHEBE, J. R. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark / CNI, 1997.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia industrial: conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.