

DIAGNÓSTICO DA LOGÍSTICA REVERSA DE LÂMPADAS POR MEIO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

DIAGNOSIS OF REVERSE LOGISTIC LAMPS BY LIFE CYCLE

Ana Leticia Zappe^a, Adan William da Silva Trentin^b, Adriane Lawisch Rodriguez^c, Diosnel Rodriguez Lopez^c

^a Mestranda do Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul, Avenida Independência, CEP: 96815-900, Brasil, E-mail: anazappe@gmail.com

^b Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul, Avenida Independência, CEP: 96815-900, Brasil, E-mail: adan_trentin@hotmail.com

^c Professor do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado, Universidade de Santa Cruz do Sul, Avenida Independência, CEP: 96815-900, Brasil, E-mail: adriane@unisc.br; dlopez@unisc.br.

RESUMO

Este estudo objetiva realizar uma avaliação da logística reversa de lâmpadas fluorescentes inservíveis no município de Santa Cruz do Sul/RS, tendo em vista a avaliação ambiental de diferentes modelos de gerenciamento. Para tal, foi realizado um levantamento da situação existente na região de estudo, ao nível das quantidades e modelos de logística reversa viáveis. O estudo foi realizado considerando três cenários de gerenciamento das lâmpadas fluorescentes inservíveis. A análise ambiental dos referidos cenários foi realizada com a aplicação do *software* Umberto 5.5. O inventário de emissões para o ambiente e o cálculo dos impactos ambientais associados a cada cenário foram realizados utilizando o método ReCiPe 2008. No que se refere à avaliação global dos impactos ambientais, pode-se concluir que o cenário 1 apresenta os resultados com maiores níveis de toxicidade. Em relação aos impactos ambientais das emissões atmosféricas, o cenário 2 apresenta-se como o mais impactante.

Palavras-chave: Avaliação do ciclo de vida. Logística reversa. Impactos ambientais.

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the reverse logistics systematic of fluorescent lamps in Santa Cruz do Sul – RS, considering the environmental impact of different management methods. Thus, an analysis of pre-existent situation was carried out in the study area, including quantity classification and available alternatives. Three different management scenarios were considered and modelled by the software Umberto 5.5. Furthermore, the emission inventories and environmental impact calculation were executed by Recipe 2008 methodology. Based on the overall environmental impact assessment, it can be concluded that first scenario resulted in the highest toxicity level. Alternatively, Scenario 2 demonstrated to be the most impactful model in respect to environmental aspects from atmospheric emissions.

Key words: Life cycle assessment. Reverse logistics. Environmental impacts.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas tem sido constatada uma elevação descontrolada no consumo de recursos naturais, bem como um aumento de potenciais poluidores, ocasionados principalmente pela gestão inadequada de resíduos. Estes, na sua grande parte, são decorrentes do crescimento populacional, aceleração econômica e desenvolvimento tecnológico (BALLEN, 2006).

Diante deste cenário, as adaptações às necessidades geradas pela sociedade do século XXI fomentam a discussão de ferramentas organizacionais as quais visem sanar os problemas ambientais e sociais que esse modelo desregrado de consumo estabelece. Obteve-se então, um crescimento significativo nas ações em busca do desenvolvimento sustentável, cujo primeiro conceito foi proposto

no relatório de Brundtland, sendo "aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem a suas necessidades" (SEIFFERT, 2007).

A minimização dos impactos ambientais gerados por este modelo de vida, visando à sustentabilidade na cadeia produtiva, vem sendo discutida por instituições e modelos governamentais como um todo. Neste sentido, surge no Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, instituída pela Lei nº 12.305/2010 e regulamentada pelo Decreto 7.404/2010, a qual dispõe seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como diretrizes relativas à gestão ambiental e gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os resíduos perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e os instrumentos econômicos aplicáveis baseando-se na concepção de desenvolvimento sustentável (Brasil, 2010).

Conforme exposto em Mourão et al. (2012), para se alcançar os objetivos da PNRS, a mesma traz a logística reversa como um dos principais instrumentos, sendo que no inciso XII do artigo 3º define-se que "logística reversa é o instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada." Atualmente no Brasil a implantação da logística reversa é obrigatória para seis tipos de resíduos, sendo eles: agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas fluorescentes e produtos eletroeletrônicos (MMA, 2010).

A fim de que a logística reversa alcance os objetivos propostos, é de suma importância a utilização do instrumento de análise do ciclo de vida – ACV, seja de produtos ou serviços. Brino (2011) define a ACV como a caracterização da série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matérias primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final como medida de auxílio na gestão ambiental.

Utilizada como um indicador de sustentabilidade de cadeias produtivas, a ACV visa um ganho ambiental e econômico das linhas de processos dos atuais modelos de produção. O ciclo de vida de um produto é concluído pelo desempenho logístico (SANTOS, 2010), sendo esse o responsável pelo destino ambientalmente correto dos produtos.

A ACV consiste na análise e na comparação dos impactos ambientais causados por diferentes sistemas que apresentam funções similares. Em outras palavras, sob a ótica ambiental, ela estabelece inventários tão completos quanto possível do fluxo de matéria (e energia) para cada sistema e permite a comparação desses balanços entre si, sob a forma de impactos ambientais, conforme exposto na Figura 1 (SOARES et al. 2006).

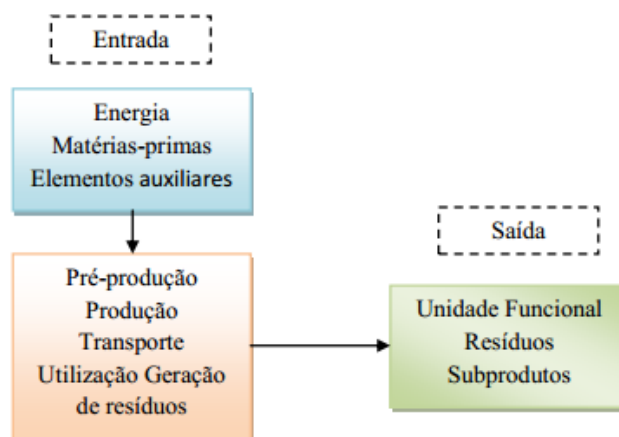


Figura 1 – Representação esquemática da ACV
Fonte: Elaborada pelos autores.

Em relação às lâmpadas fluorescentes, a logística reversa apresenta um cenário preocupante, gerando grande preocupação com questões ambientais, em virtude principalmente do descarte incorreto das lâmpadas fluorescentes inservíveis. Considerado um resíduo perigoso, em virtude de

conter substâncias tóxicas, como o Mercúrio (Hg), em sua composição, as lâmpadas fluorescentes são caracterizadas como potenciais poluidores do solo e da água, trazendo enormes riscos à qualidade ambiental e à saúde humana.

Classificadas como resíduos perigosos, frágeis, volumosos, com ampla variedade de tipos e diferentes tamanhos e formas, as lâmpadas fluorescentes consistem em uma nova problemática ambiental relacionada à destinação pós-venda e pós-consumo (BACILA, 2012).

2. METODOLOGIA

O município de Santa Cruz do Sul, sob coordenadas geográficas de localização Lat.: 29° 43' 21,06"S e Long.: 52° 26' 05,42"O, encontra-se situado na Região Centro-Oeste do Estado do Rio Grande do Sul, na encosta inferior nordeste, e possui uma população total de 118.374 habitantes, sendo que 103.580 habitantes moram na área urbana, com taxa de urbanização de 87,5% e densidade demográfica de 161,3 hab./km (IBGE, 2010).

A metodologia utilizada para a realização do presente trabalho consistiu, em uma primeira fase, na identificação e caracterização da área geográfica objeto de estudo e na pesquisa dos tipos de logística reversa que podem ser utilizadas nas lâmpadas fluorescentes inservíveis do município de Santa Cruz do Sul.

Em uma fase seguinte, foi concebido um conjunto de diferentes cenários de logística reversa, identificadas as entradas e saídas de materiais e quantificados os dados de transporte, carga, modelo de caminhão e número de lâmpadas fluorescentes inservíveis, sendo estas o valor referente à quantidade de lâmpadas inservíveis geradas em um ano. Não foi considerada a etapa da reciclagem propriamente dita e os dados utilizados para a elaboração do trabalho foram gerados com base em dados estatísticos e estimados pelos colaboradores do projeto de pesquisa. Na Tabela 1 são expostos os parâmetros de projeto adotados para a confecção dos cenários.

Tabela 1 – Parâmetros adotados para a elaboração dos cenários

Parâmetro	Valor considerado
Lâmpadas fluorescentes inservíveis no município	310.740 lâmpadas/ano
Consumo de lâmpadas fluorescentes	3 lâmpadas fluorescentes/habitante/ano
Quantidade de Hg presente em cada lâmpada	0,015 kg
Hg lançado no meio ambiente	4,7 kg/ano
Número de viagens até o ponto de entrega voluntária	34.527 viagens/ano
Distância percorrida até o ponto de entrega voluntária	5 km
Distância percorrida do ponto de entrega voluntária até a recicladora	1.246 km
Número de lâmpadas fluorescentes que um Bulbox suporta	1.000 lâmpadas fluorescentes trituradas

Fonte: Elaborada pelos autores.

O estudo da análise do ciclo de vida da logística reversa das lâmpadas fluorescentes foi elaborado por meio da utilização do *software* Umberto 5.5, e os resultados referentes à análise do ciclo de vida para a realização do inventário de emissões atmosféricas para o ambiente e o cálculo dos impactos ambientais associados a cada cenário foram realizados utilizando o método ReCiPe 2008.

Para a composição do inventário do ciclo de vida, foi necessário inserir no *software* Umberto 5.5 uma base de dados referentes à quantidade dos resíduos gerados pela unidade funcional de estudo, no caso, os dados referentes às lâmpadas fluorescentes descartadas na zona urbana, no período de um ano, no município de Santa Cruz do Sul.

Após a manipulação dos dados no *software* Umberto 5.5, foi elaborado um balanço das entradas e saídas do sistema em estudo. Os dados referentes ao deslocamento de uma etapa a outra foram computados, levando em consideração o tipo de modelo de logística reversa adotada, as distâncias, o combustível consumido e as emissões produzidas pela queima do combustível.

Para os cálculos do volume de lâmpadas fluorescentes inservíveis geradas no município, foi levada em consideração apenas a zona urbana do mesmo, esta que compreende 87,5% do território. Sendo assim, o total de habitantes contribuintes é de 103.580, distribuídos em 34.527 domicílios.

2.1 Descrição dos cenários

2.1.1 Cenário 1 – Situação atual

Na sua maioria, as lâmpadas fluorescentes são descartadas juntamente com resíduos domiciliares, e assim, seguem a logística usual de coleta adotada pelo município, gerando um nível acentuado de poluição tanto no solo, como no ar e na água, devido à presença do Mercúrio (Hg), um agente químico tóxico responsável pela bioacumulação.

Neste contexto, este cenário caracteriza-se como a situação atual do município de Santa Cruz do Sul, sendo que as lâmpadas fluorescentes inservíveis tem como destino final o Aterro Sanitário de Minas do Leão, localizado na cidade de Minas do Leão-RS, juntamente com os resíduos sólidos urbano, o que se caracteriza como uma condição não aceitável sob o enfoque ambiental.

Para tal, fez-se a avaliação dos impactos ambientais potenciais que este modelo de gerenciamento proporciona. Logo, o presente cenário foi avaliado no que tange a quantidade de Mercúrio (Hg) com potencial de contaminação, porém, não foi utilizado o *software* Umberto 5.5 para avaliação do mesmo, sendo realizada apenas a avaliação do nível de impacto ambiental de Mercúrio (Hg) no que tange a contaminação do solo, do ar e das águas. Trabalhou-se com valores referentes à unidade populacional de Santa Cruz do Sul, que compreende em 118.374 habitantes, segundo o IBGE (2010).

2.1.2 Cenário 2

Este cenário foi criado para simular a logística reversa das lâmpadas fluorescentes inservíveis, de modo que o processo reverso de logística adotado ocorresse, de forma inicial, com um transporte voluntário até o Ponto Entrega Voluntária (PEV). Aqui, foi considerado que este cidadão se deslocaria no máximo 5 km até o ponto de entrega voluntário em um carro popular.

Para modo de cálculo foi considerada apenas a população urbana de Santa Cruz do Sul (87,5% da sua população total). Dessa maneira, 34.527 viagens seriam realizadas, transportando 310.740 lâmpadas. Deste ponto de entrega voluntário as mesmas seriam transportadas em um caminhão com capacidade total de carga de 10 toneladas, o que corresponderia ao transporte de 20.000 lâmpadas inteiras dentro de caminhão baú, até a cidade de Paulínia/SP, percorrendo 1.246 km, onde seriam recicladas. Logo, através do inventário do ciclo de vida gerado, fez-se a avaliação ambiental referente as emissões atmosféricas proporcionadas pela logística reversa, quando as lâmpadas fluorescente inservíveis são gerenciadas no modelo de devolução sem quebra para a unidade recicladora.

2.1.3 Cenário 3

Este cenário foi criado para simular a logística reversa das lâmpadas fluorescentes inservíveis, levando-se em consideração o uso dos trituradores de lâmpadas. Neste sistema todos os componentes das lâmpadas são separados e armazenados de forma segura, possibilitando assim a sua reutilização. Estes sistemas de trituradores possuem em sua configuração tambores de 200 litros e tem capacidade para acondicionar aproximadamente 1000 lâmpadas fluorescentes tubulares (BULBOX, 2013).

Este sistema é baseado na separação de vidro e pó fosfórico no seu interior, sendo que a unidade recicladora ficará somente com o serviço de reciclagem do Mercúrio (Hg) e demais componentes existentes na composição do pó fosfórico.

O cenário 3 também teve como principal avaliação ambiental as emissões atmosféricas proporcionadas pelo serviço de logística reversa, uma vez que as lâmpadas fluorescentes inservíveis serão submetidas a uma "pré-reciclagem" no ponto de entrega voluntário.

O que difere os cenários é o modelo de transporte até a recicladora, uma vez que este será realizado com um caminhão com capacidade de transporte de 20 toneladas. Isso equivale a transportar 40.000 unidades (8.000 kg) de lâmpadas fluorescentes quebradas, sendo que estas são armazenadas em 40 toneis de aço.

3. RESULTADOS

Na análise do ciclo de vida, os resultados alcançados neste trabalho mostraram que a determinação dos insumos de entrada, assim sendo a quantidade de lâmpadas fluorescentes inservíveis geradas no município de Santa Cruz do Sul e o combustível utilizado pelos caminhões no transporte até a unidade recicladora, são fatores determinantes para o inventário ambiental e consistem no primeiro passo para determinar quais influências o mesmo terá sobre o meio ambiente decorrente do processo de logística reversa.

Com o auxílio do *software* se obteve o inventário de emissões dos cenários 2 e 3, uma vez que os cálculos do cenário 1 foram formulados com base na quantidade de Mercúrio (Hg) liberado no meio ambiente.

3.1 Avaliação ambiental dos cenários em estudo

3.1.1 Cenário 1 – Situação atual

Segundo Scanavaca (2013), cada pessoa consome em média três lâmpadas fluorescentes por ano. Sendo assim, no município de Santa Cruz do Sul, considerando apenas a área urbana, a cada ano, 310.740 lâmpadas fluorescentes são descartadas juntamente com resíduos comuns, o que corresponde a aproximadamente 4,7 kg de Mercúrio (Hg) ao ano sendo descartados diretamente no meio ambiente, promovendo a contaminação da água, do solo, do ar e consequentemente dos seres humanos.

O nível de impacto ambiental que o Mercúrio (Hg) representa para o meio ambiente pode ser observado na Tabela 2. Cabe ressaltar que neste caso, somente o impacto ambiental referente à toxicidade foi avaliado, uma vez que o Mercúrio (Hg) aparece apenas neste grau de impacto dentro da metodologia utilizada.

Tabela 2 – Contribuição para as categorias de impacto ambiental do cenário atual (Cenário 1), conforme metodologia ReCiPe, 2008

Categoria de Impacto	Impacto Ambiental
Ecotoxicidade de Água Doce (kg 1,4-DB eq./ano)	4,77E+02
Toxicidade Humana (kg 1,4-DB eq./ano)	2,67E+06
Ecotoxicidade Marinha (kg 1,4-DB eq./ano)	7,74E+03
Ecotoxicidade Terrestre (kg 1,4-DB eq./ano)	1,78E+03

Fonte: Elaborada pelos autores.

Uma melhor visualização dos resultados pode ser observada na Figura 2, a qual representa graficamente os valores totais obtidos em cada categoria de impacto avaliada.

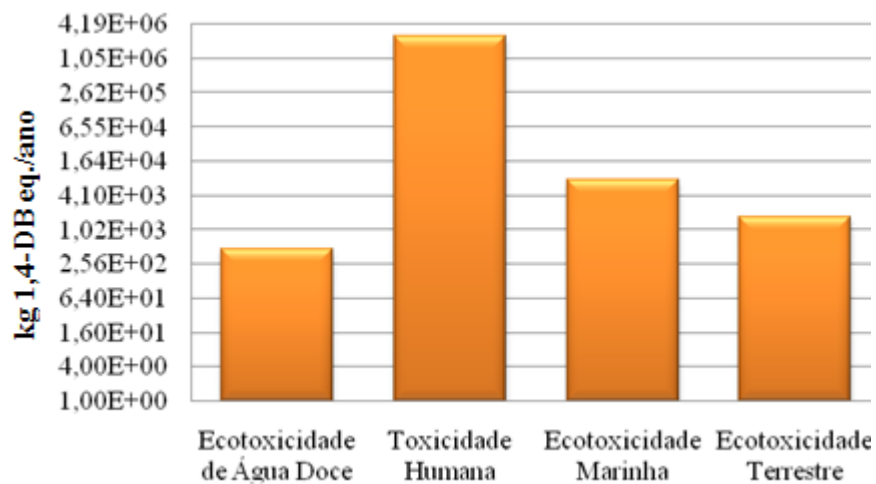


Figura 2 – Resultados obtidos dos níveis de toxicidade do Hg destinado ao aterro sanitário

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 2 e a Figura 2 demonstram os impactos ambientais que o Mercúrio (Hg) contido no interior das lâmpadas fluorescentes pode gerar ao meio ambiente, quando gerenciado de forma incorreta. Salienta-se que a categoria de ecotoxicidade humana apresenta o maior índice de contaminação, podendo levar a morte. A ecotoxicidade marinha é apresentada em um valor menor, porém, pode causar sérios danos aos ecossistemas aquáticos marinhos, interferindo na cadeia alimentar, fato que também está associado à ecotoxicidade em água doce, principalmente quando o Mercúrio (Hg) entra em contato com peixes, causando danos a cadeia alimentar (DURÃO et al. 2008). No que diz respeito à toxicidade terrestre, o mesmo pode provocar sérios danos à litosfera.

3.1.2 Cenário 2

O segundo cenário estudado, onde as lâmpadas fluorescentes inservíveis geradas no município de Santa Cruz do Sul são destinadas a recicladora, foi elaborado com a mesma base de dados do cenário 1, porém, o modelo de gestão teve seu inventário de ciclo de vida calculado pelo *software* Umberto 5.5. Para que o cálculo de inventário de ciclo de vida seja realizado, elaborou-se um sistema de fluxo de materiais, é visto na Figura 3.

Neste cenário podem-se visualizar dois pontos de entrada de materiais, representados por P1 e P2, sendo o ponto P1 correspondente a entrada de 62.148 kg, o equivalente ao peso das lâmpadas fluorescentes inservíveis geradas no município de Santa Cruz do Sul no período de um ano, uma vez que cada lâmpada possui um peso de 0,2 kg. O segundo ponto de entrada, P2, corresponde ao

combustível necessário para abastecer os veículos que farão o transporte das lâmpadas fluorescentes até a unidade recicladora.

No fluxograma do cenário 2, é possível observar um ponto de transição, correspondente a P4, sendo este o PEV - Ponto de Entrega Voluntário, localizado na prefeitura de Santa Cruz do Sul e local de armazenamento das lâmpadas fluorescentes inservíveis geradas pela população urbana.

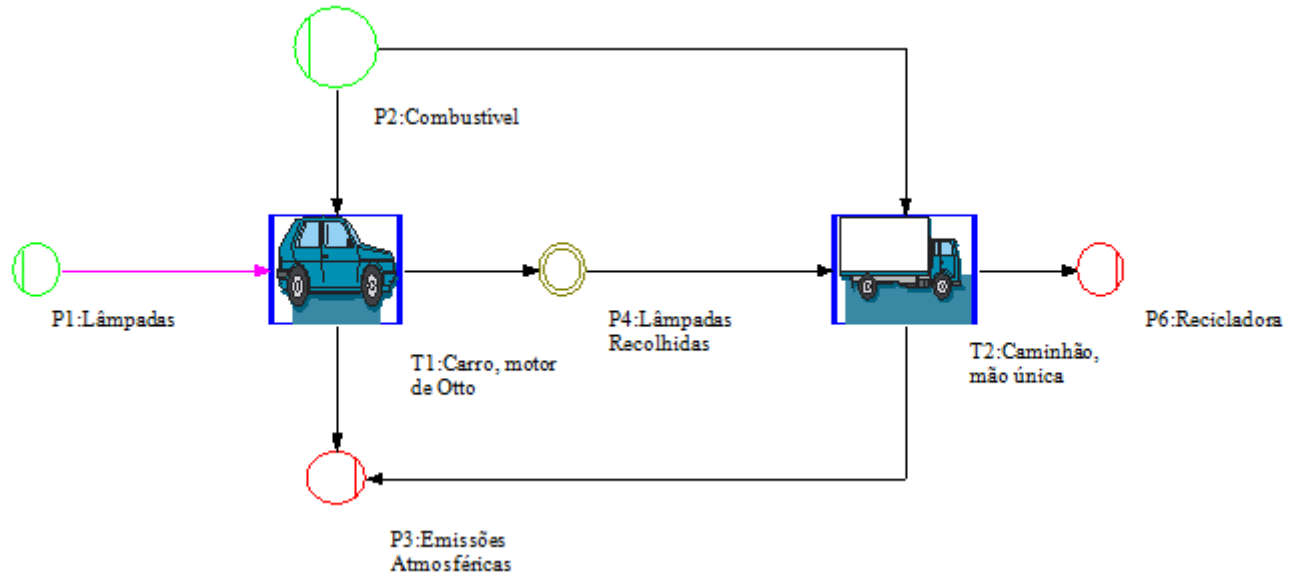


Figura 3. Fluxo adotado para o estudo do cenário 2
Fonte: Elaborada pelos autores no software Umberto 5.5.

Os locais de transformações estão representados pelos quadrados, logo, são os locais onde acontecem a transformações de materiais. Para tanto, T1 corresponde ao modelo de carro adotado para o transporte cuja origem são os domicílios. Sendo assim, têm-se 34.527 viagens ao ano, sendo que a entrega será de nove lâmpadas (valor correspondente a uma média de três habitantes por domicílio).

No ponto T2, temos o transporte do PEV - Ponto de Entrega Voluntário até a recicladora. Segundo a base de dados do Umberto 5.5, definiu-se modelo de caminhão para realizar o transporte das lâmpadas fluorescentes geradas. Considerou-se que o transporte é efetuado com as mesmas inteiras, dentro das caixas de papelão as quais foram entregues pelos fornecedores, totalizando uma carga de 10 toneladas, e a distância a ser percorrida é de 1.246 km.

O P6 corresponde às lâmpadas fluorescentes após logística reversa, uma vez que as mesmas são destinadas a uma empresa de reciclagem localizada na cidade de Paulínia/SP e o P3 corresponde às emissões atmosféricas oriundas do transporte das lâmpadas fluorescentes, tanto dos domicílios até o PEV - Ponto de Entrega Voluntário como do PEV - Ponto de Entrega Voluntário até a recicladora.

A interpretação do ciclo de vida da logística reversa das lâmpadas fluorescentes fornece dados de emissões relevantes, a ponto de se destacar a contaminação atmosférica como sendo a única unidade de impacto ambiental gerada, enquanto que ao dispor os resíduos de lâmpadas fluorescentes diretamente em lixões e/ou aterros sanitários temos índices de contaminação no ar, na água e solo. Na Tabela 3 são apresentadas as contribuições para as categorias de impacto ambiental no cenário 2.

3.1.3 Cenário 3

Conforme descrito na metodologia, este cenário possui os mesmos dados de entrada do cenário 2, porém, estuda-se uma metodologia de transporte diferenciada. Analisou-se o uso de trituradores de lâmpadas fluorescentes, do modelo "Bulbox", sendo estes modelos em "tambores" com 200 litros de capacidade e que conseguem acondicionar até 1.000 lâmpadas fluorescentes tubulares trituradas.

Neste modelo de logística reversa adotado, há necessidade de selecionar um caminhão maior, pois ocorre um aumento no volume e de peso a ser transportado. Sendo assim, a partir dos dados retirados da biblioteca do software Umberto 5.5, no que se refere ao modelo de caminhão utilizado no transporte, opta-se por um modelo que comporta 20 toneladas.

Para que ocorresse a avaliação do impacto do ciclo de vida da logística reversa, utilizou-se novamente a metodologia ReCiPe 2008, sendo que os dados do terceiro cenário podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 3 – Contribuição para as categorias de impacto ambiental no cenário 2, conforme metodologia ReCiPe, 2008

Categoria de Impacto	Impacto Ambiental
Eutrofização Marinha (kg N eq./ano)	3,22E+01
Mudanças Climáticas (kg CO ₂ eq./ano)	4,30E+04
Acidificação Terrestre (kg SO ₂ eq./ano)	1,91E+02
Formação de Partículas (kg PM10 eq./ano)	7,81E+01
Formação de Oxidantes Fotoquímicos (kg NMVOC eq./ano)	5,24E+02
Ecotoxicidade de Água Doce (kg 1,4-DB eq./ano)	1,19E-01
Toxicidade Humana (kg 1,4-DB eq.)	8,57E+01
Ecotoxicidade Marinha (kg 1,4-DB eq./ano)	1,95E-01
Ecotoxicidade Terrestre (kg 1,4-DB eq./ano)	1,72E-01

Fonte: Elaborada pelos autores

Tabela 4 – Contribuição das categorias de impacto ambiental no cenário 3, conforme metodologia ReCiPe, 2008

Categorias de Impacto	Impacto Ambiental
Eutrofização Marinha (kg N eq./ano)	3,01E+01
Mudanças Climáticas (kg CO ₂ eq./ano)	4,00E+04
Acidificação Terrestre (kg SO ₂ eq./ano)	1,78E+02
Formação de Partículas (kg PM10 eq./ano)	7,12E+01
Formação de Oxidantes Fotoquímicos (kg NMVOC eq./ano)	4,95E+02
Ecotoxicidade de Água Doce (kg 1,4-DB eq./ano)	1,20E-01
Toxicidade Humana (kg 1,4-DB eq.)	8,57E+01
Ecotoxicidade Marinha (kg 1,4-DB eq./ano)	1,90E-01
Ecotoxicidade Terrestre (kg 1,4-DB eq./ano)	1,70E-01

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.2 Avaliação comparativa dos cenários

Apenas na categoria de impacto ambiental referente aos índices de toxicidade, os três cenários estudados foram comparados, uma vez que para as demais categorias, utilizou-se apenas os cenários 2 e 3 para as comparações, realizando a avaliação ambiental proposta no objetivo no trabalho.

3.2.1 Toxicidade

O município de Santa Cruz do Sul libera anualmente em sua área urbana 4,7 kg de Mercúrio (Hg), devido em grande parte ao descarte incorreto das lâmpadas fluorescentes. Bacila (2012), em seu estudo sobre o uso da logística reversa para apoiar a reciclagem de lâmpadas fluorescentes, estima que só na região sudeste, foi liberado em 1998, um total de 539 kg de Mercúrio (Hg), pelo mesmo motivo encontrado aqui. Na Figura 4, podemos observar a toxicidade encontrada em todas as categorias de impacto avaliadas.

A contribuição de impacto ambiental referente à toxicidade está diretamente ligada à disposição das lâmpadas fluorescentes inservíveis em lixões e/ou aterros sanitários.

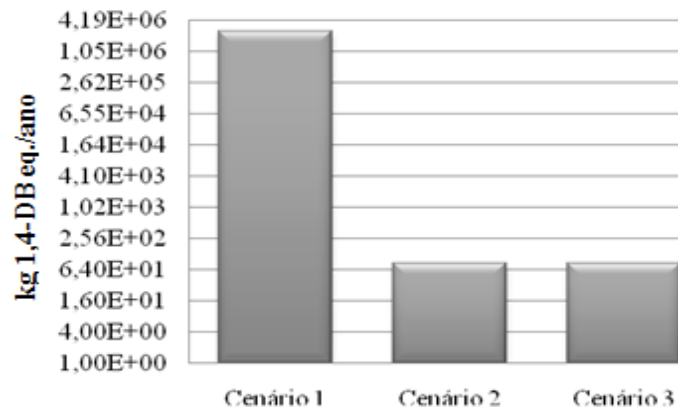


Figura 4 – Toxicidade encontrada em todas as categorias de impacto avaliadas nos três cenários estudados
Fonte: Elaborada pelos autores.

3.2.2 Análise do ciclo de vida da logística reversa das lâmpadas fluorescentes

3.2.2.1 Eutrofização Marinha

Figueiredo et al. (2007) cita que a eutrofização das águas significa seu enriquecimento por nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, levando ao crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, com consequente desequilíbrio do ecossistema aquático e progressiva degeneração da qualidade da água dos corpos lânticos. Na Figura 5, pode-se visualizar a contribuição de cada cenário para a eutrofização marinha.

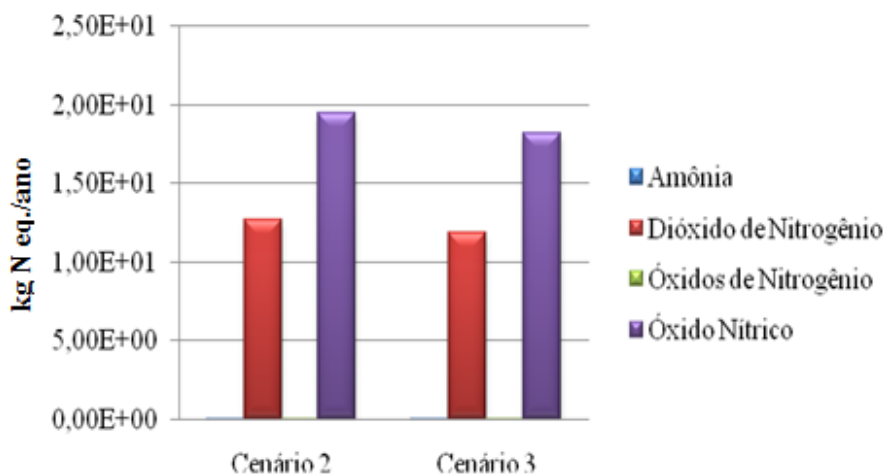


Figura 5 – Contribuição de cada cenário para a eutrofização marinha
Fonte: Elaborada pelos autores.

Dos cenários apresentados acima, nota-se que o impacto mais significativo refere-se ao segundo cenário estudado, consequência da presença de NO_x liberada pela queima de combustível no transporte do PEV - Ponto de Entrega Voluntário até a unidade recicladora. Smith et al. (1999) mostra em seu estudo através de uma análise estatística preliminar que as emissões de NO_x podem influenciar nos níveis atmosféricos de dióxido de carbono, logo, o mesmo relata que as entradas de nutrientes na atmosfera por formas antropogênicas cresce consideravelmente, enriquecimento este que leva a eutrofização, ocasionando mudanças altamente indesejáveis.

Os cenários apresentam um equilíbrio no que diz respeito à eutrofização marinha, pois os modelos de transporte adotados não possuem diferenças significativas.

3.2.2.2 Mudanças Climáticas

Gomes (2008) relaciona o potencial de aquecimento global com o derretimento das calotas polares, mudanças climáticas, alterações nos padrões de ventos e correntes oceânicas, desertificação e alteração das zonas florestais. Na Figura 6 pode-se observar a contribuição de cada cenário para este potencial.

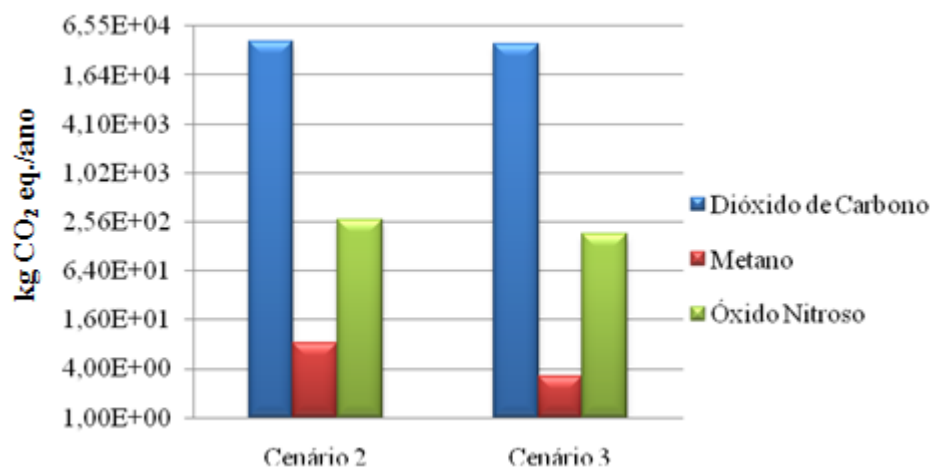


Figura 6 – Contribuição de cada cenário para o potencial de aquecimento global
Fonte: Elaborada pelos autores.

Ao analisar o gráfico, percebe-se que o maior contribuinte para o potencial de aquecimento global é o Dióxido de Carbono (CO_2). O CO_2 é uma das emissões típicas da combustão de veículos automotores, sendo mesmo definido como o produto da oxidação completa do carbono (C) presente no combustível durante sua queima e é considerado um gás de efeito estufa expressivo (MMA, 2010).

3.2.2.3 Acidificação Terrestre

Segundo Ferreira (2004), as substâncias que mais contribuem para a acidificação são o SO_2 , NO_x e NH_x . Na Figura 7, pode observar as substâncias que contribuem para a acidificação terrestre.

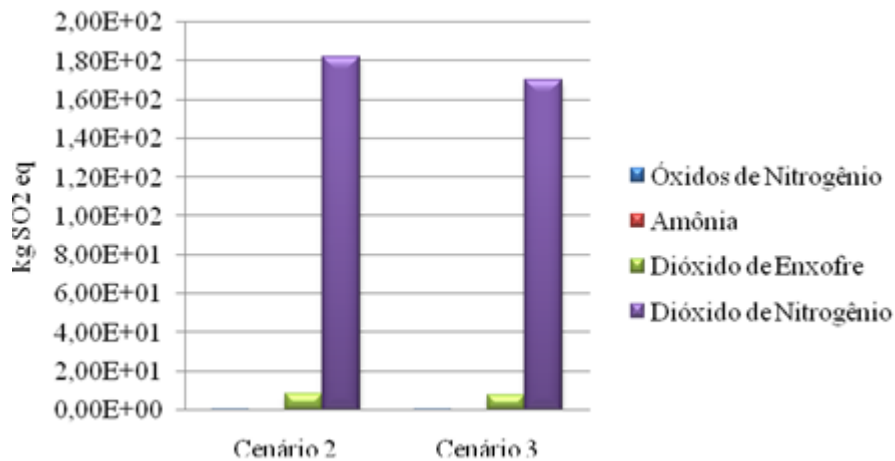


Figura 7 – Contribuição de cada cenário para a acidificação terrestre
Fonte: Elaborada pelos autores

A acidificação é uma das categorias de impacto na qual a sensibilidade local têm um papel importante e a possibilidade de incluir diferenças regionais no modelo análise do ciclo de vida tem sido um ponto chave nos anos mais recentes (FERREIRA, 2004).

Por meio dos resultados obtidos, conclui-se que os NO_x possuem 95% de contribuição para a acidificação nos dois cenários estudados.

3.2.2.4 Formação de oxidantes fotoquímicos

Oxidantes fotoquímicos é a denominação que se dá à mistura de poluentes secundários formados pelas reações entre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis na presença de luz solar, sendo estes últimos liberados na queima incompleta e evaporação de combustíveis e solventes. O principal produto desta reação é o ozônio, por isso, o mesmo é utilizado como parâmetro indicador da presença de oxidantes fotoquímicos na atmosfera (CETESB, 2013).

Na Figura 8, pode-se observar a contribuição de cada cenário para a formação de oxidantes fotoquímicos.

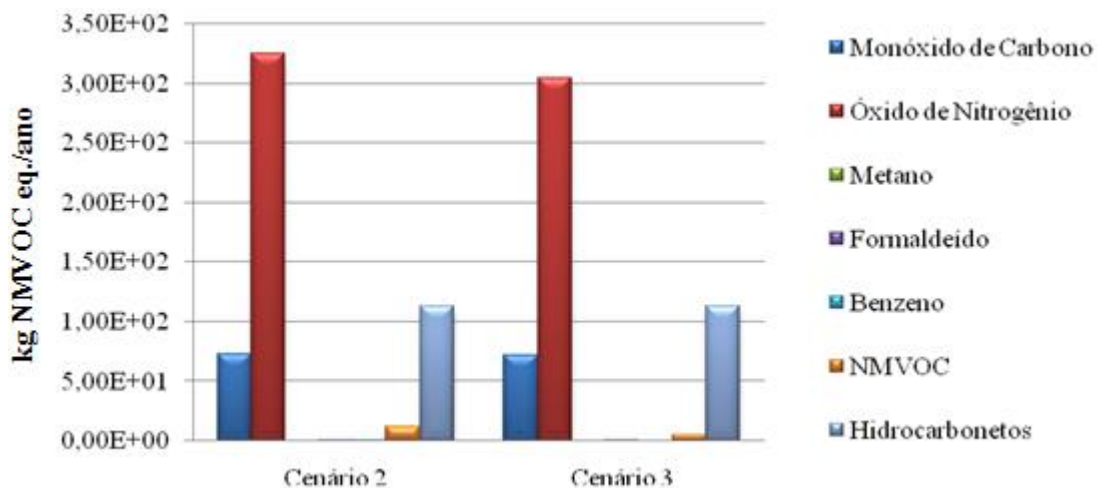


Figura 8 - Contribuição de cada cenário para a formação de oxidantes fotoquímicos
Fonte: Elaborada pelos autores.

Observa-se que o maior contribuinte em ambos os cenários são os NO_x , cuja contribuição chega a 60% dos poluentes liberados a atmosfera.

3.2.2.5 Formação de material particulado

A formação de material particulado de diferentes amplitudes de tamanho é, na maioria das vezes, oriunda da exaustão dos carros a diesel. Na Figura 9, é possível visualizar a contribuição de cada cenário para a formação deste tipo de material.

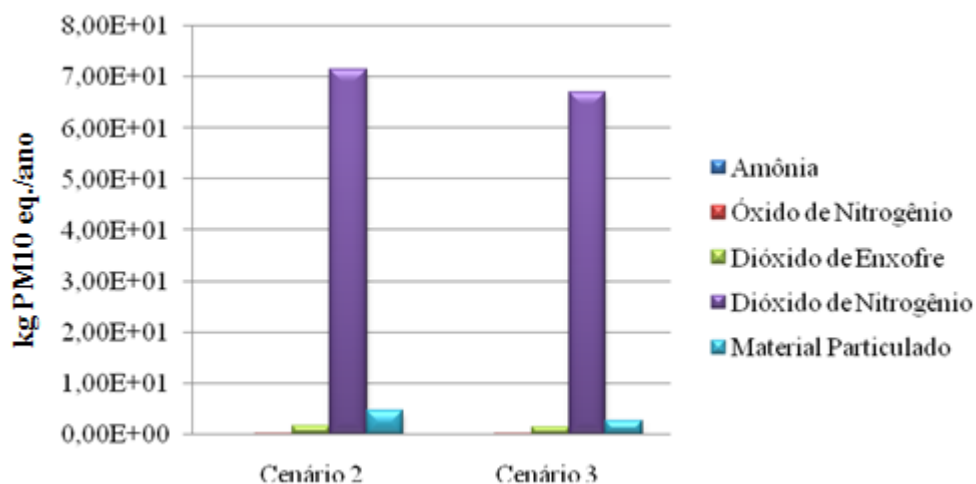


Figura 9 - Contribuição de cada cenário estudado para a formação de material particulado.
Fonte: Elaborada pelos autores.

Com relação à formação de material particulado, novamente tem-se o Cenário em destaque. Guarieiro et al. (2011) traz os indicadores de qualidade do ar que são regulamentados e de uso universal: dióxido de enxofre (SO_2), material particulado (MP), monóxido de carbono (CO), ozônio (O_3) e óxidos de nitrogênio (NO_x). Dentre as fontes destas espécies pode-se destacar a queima incompleta de combustível e a queima de óleo lubrificante. Em geral, a queima de diesel pode emitir partículas com conteúdo composto de material parcialmente queimado, matéria orgânica do combustível e do óleo lubrificante, carbono elementar, sulfatos, mercaptanas, óxidos metálicos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA, nitro-HPA), compostos reduzidos de enxofre, entre outros componentes.

Cabe salientar-se que para este estudo, esta categoria apresenta como principal contribuinte pela formação de material particulado os óxidos de nitrogênio, sendo presentes em 91% da composição.

4. CONCLUSÕES

Através dos dados expostos, confirma-se a tendência de logística reversa às lâmpadas fluorescentes inservíveis expostas por Polanco (2007). A reciclagem das lâmpadas pode trazer benefícios sociais, ambientais e econômicos, uma vez que a logística reversa aplicada evita a liberação de Mercúrio no meio ambiente e, a diminuição dos impactos ambientais quando comparado ao descarte de lâmpadas sem nenhum tipo de tratamento que pode contaminar o solo, a água e o ar.

Porém, com relação à análise do ciclo de vida da logística reversa, a queima de combustíveis nos processos que deles se utilizam é a principal fonte de emissões atmosféricas e gera os poluentes CO_2 , CO, NO_x , SO_2 , VOC's (compostos orgânicos voláteis), particulados, entre outros. Por outro lado, Leduc (2010), em seu estudo sobre uma avaliação ambiental do potencial de melhoria dos carros, traz uma análise do ciclo de vida dos mesmos, a qual mostra que é possível obter impactos positivos com relação ao perfil ambiental dos automóveis, tanto dos que utilizam gasolina como os que utilizam diesel.

Para uma avaliação da metodologia de estudo da Avaliação do Ciclo de Vida, verificou-se, assim como exposto por Prado (2007), que a coleta de dados é bastante complexa e demanda tempo para obtenção, análise e compreensão. Além disso, cabe salientar que os resultados aqui alcançados refletem a realidade de uma indústria nacional, de acordo com os referenciais aqui pré-estabelecidos. Os resultados obtidos neste estudo referem-se exclusivamente aos cenários propostos, as variáveis e considerações pré-estabelecidas. Sendo assim, os resultados aqui obtidos podem se alterar em caso de mudanças nos cenários e variáveis envolvidas, além do próprio espaço temporal.

Com relação ao transporte, Bacila (2012) enfatiza que um valor superior a 70% das rodovias encontram-se em condições inadequadas e, além disso, as lâmpadas fluorescentes usadas são materiais frágeis, volumosos e contém mercúrio. Sendo assim, deve fazer parte do programa de reciclagem, os cuidados relacionados ao transporte para garantir que as lâmpadas cheguem intactas aos recicladores.

Pode-se concluir que a implementação da logística reversa na gestão de lâmpadas fluorescentes inservíveis provoca aspectos positivos e negativos no que diz respeito a emissões atmosféricas. Ao mesmo tempo em que se observa a redução de 100% do volume de Mercúrio liberado ao meio ambiente, se tem a liberação de outros poluentes atmosféricos em virtude do transporte das lâmpadas até os locais de destino final. Sendo assim, fica clara a necessidade de outros estudos em prol de melhores resultados no que diz respeito à redução das emissões atmosféricas.

5. REFERÊNCIAS

BACILA, D.M. Uso da logística reversa para apoiar a reciclagem de lâmpadas fluorescentes usadas: Estudo comparativo entre Brasil e Alemanha. 2012. 156f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação Meio Ambiente Urbano e Industrial, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BELLEN, H. M. Van. Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa. 2.ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006. 256p.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário oficial da República Federativa do Brasil, DF, 03 de ago. 2010.

BRINO, H.R.H. et al. Análise do Ciclo de Vida. In: I Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 2011, Ponta Grossa - PR. Resumos. Associação Paranaense de Engenharia de Produção.

BULBOX (Triturador e Descaracterizador de Lâmpadas Fluorescentes) - Ambiensys Gestão Ambiental, 2013. Disponível em: www.bulbox.com.br. Acesso em: 12 de jun; 2013.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. 2013. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 06 de jun, 2013.

DURÃO JÚNIOR, W.A.; WINDMOLLER, C.C. A questão do mercúrio em lâmpadas fluorescentes. Química Nova na Escola, nº 28, p. 15-19, 2008.

- FERREIRA, J.V.P. Análise do Ciclo de Vida dos produtos. Instituto Politécnico Viseu, 2004.
Disponível em: <http://www.ceap.br/material/MAT02102013213451.pdf>. Acesso em: 08 de jun, 2013.
- FIGUEIREDO, M.C.B. de; TEIXEIRA, A.S.; ARAÚJO, L. de F.P.; ROSA, M.F.; PAULINO, W.D.; Mota, S.; ARAÚJO, J.C. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.12, p. 399-409, 2007.
- GOMES, M.R.V. Contribuição para a gestão sustentável de resíduos sólidos na Região Centro. 2008. 110f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Meio Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Portugal.
- GUARIEIRO, L.L.N.; VASCONCELLOS, P.C.; SOLCI, M.C. Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão. *Revista Virtual de Química*, vol. 3, nº 5, p. 434-445, nov. 2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Senso Demográfico. 2010. Disponível em: www.ibge.com.br. Acesso em 05 junho 2014.
- LEDUC, G. et al. How can our cars become less polluting? An assessment of the environmental improvement potential of cars. *Transport Policy* p. 409–419, 2010.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Manual para implantação de sistema de gestão de resíduos de construção civil em consórcios públicos. 2010. Brasília, DF.
- MOURÃO, R.F.; SEO, E.S.M. Logística Reversa de Lâmpadas Fluorescentes. *InterfacEHS: Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade*. Volume 7, Número 3, 2012.
- PRADO, M.R. Análise do inventário do ciclo de vida de embalagens de vidro, alumínio e PET utilizadas em uma indústria de refrigerantes no Brasil. 2007. 161f. Tese (Doutorado) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.
- POLANCO, S.L.C. A situação da destinação pós-consumo de lâmpadas de mercúrio no Brasil. 2007. 119f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul.
- SANTOS, L.A.A.; BOTINHA, R.A.; LEAL, E.A. A contribuição da Logística Reversa de Pneumática para a Sustentabilidade Ambiental. In: VII Convidra Administração – Congresso Virtual Brasileiro de Administração, 2010.

SEIFFERT, M. E. B. *Gestão Ambiental: Instrumentos, esferas de ação e educação ambiental*. São Paulo: Atlas, 2007.

SCANAVACA JÚNIOR, L. *O Lixo e a necessidade de Reduzir, Reutilizar, Reciclar e Repensar*. Disponível em: < <http://www.cnpma.embrapa.br> >. Acesso em: 14 abril 2013.

SMITH, VH; TILMAN, G.D; NEKOLA, J.C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, p. 179-189, 1999.

SOARES, S. R.; SOUZA, D. M.; PEREIRA, S. W. A Avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. In: *Construção e Meio Ambiente*. Editores: Miguel Aloysio Sattler e Fernando Oscar Ruttkay Pereira. Coleção Habitare, v. 7. Porto Alegre: ANTAC, 2006.