



Avaliação ambiental do processo de moldagem por sopro para a produção de garrafas de polietileno

E. A. da SILVA, J. M. MOITA NETO

Universidade Federal do Piauí - UFPI

Av. Universitária, Ininga, Teresina-PI

O polietileno é um polímero largamente utilizado na confecção de embalagens para indústria alimentícia. Neste trabalho, é feita a avaliação ambiental, através da Avaliação do Ciclo de Vida, do processo de transformação do polietileno em garrafas para o acondicionamento de iogurte. Os processos elementares considerados foram a produção das matérias-primas (PEAD, PEBD e pigmento), transporte das matérias-primas de Recife-PE a Teresina-PI, transformação das matérias-primas em garrafas, através do processo de moldagem por sopro, e distribuição das garrafas para o município de Parnaíba-PI. Os dados primários foram coletados em uma indústria de Teresina-PI e modelados no software SimaPro versão PhD 8.0.3.1 em conjunto com dados secundários obtidos nas bibliotecas Ecoinvent 3 e USLCI. A Avaliação de Impactos foi realizada segundo o modelo ReCiPe Midpoint (E). Observou-se que o processo produtivo na indústria de transformação demanda um elevado consumo de energia elétrica e, por isso, se destacou na contribuição para a maioria das categorias de impacto; seguido pelo processo de transporte de matérias-primas e distribuição do produto final por causa da utilização do diesel. A melhoria do desempenho ambiental da garrafa plástica transformada em Teresina-PI pode ser alcançada com a implantação da eficiência energética na própria indústria.

1. Introdução

Em função da crescente demanda pelos artefatos plásticos, motivada pela sua diversidade de aplicações (embalagens, construção civil, equipamentos elétricos e eletrônicos, entre outros), a atividade de transformação desse material tem se tornado comum nas cidades brasileiras. A cidade de Teresina, capital do Piauí, possui indústrias que transformam resinas poliméricas em produtos finais prontos para uso do consumidor, tais como: sacos, sacolas, garrafas, produtos descartáveis e tubos utilizados em instalações hidrossanitárias.

Comumente, o plástico é visto como um dos vilões do meio ambiente, principalmente, por dois motivos: sua significativa representatividade na composição dos resíduos sólidos e por ser descartado, na maioria das vezes, de forma inadequada.

Para saber a real dimensão dos impactos ambientais associados ao consumo dos plásticos, é preciso uma visão mais sistêmica que contemple toda a sua história. Por exemplo, a matéria-prima transformada no Piauí é adquirida em pólos petroquímicos localizados em outros estados do nordeste brasileiro e transportada por modal rodoviário, que é utilizado também na distribuição do produto final. Na indústria, ela é transformada, demandando o uso de outros insumos e energia. Depois de utilizado, o produto recebe uma disposição final que, no caso em questão, muitas vezes, é ambientalmente inadequado (lixões ou aterros controlados).

Assim, na história do produto, devem ser considerados aspectos relacionados à fabricação de transportes, à utilização de combustíveis, à construção de rodovias, ao consumo de energia,



IV CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO PELO CICLO DE VIDA

9 a 12 de novembro de 2014

São Bernardo do Campo – SP – Brasil



entre outras questões. Além disso, o consumo de água, a qualidade do efluente gerado no processo de transformação do plástico e o destino/disposição final dado ao produto pós-consumo são aspectos relevantes para avaliar a sustentabilidade ambiental.

A ferramenta que possibilita o conhecimento dos impactos ambientais em todas as fases do ciclo de vida dos produtos e serviços é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). A ACV ou *Life Cycle Assessment* (LCA), como é conhecida mundialmente, é definida como a “compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida” (ABNT, 2009a).

Logo, a ACV pode ser aplicada para identificar os impactos ambientais associados a um produto/processo/serviço da fase de retirada de matéria-prima da natureza até a disposição final (berço ao túmulo). Sendo assim, os seus resultados indicam em que etapa específica do ciclo de vida pode ser feitas mudanças com a finalidade de evitar a transferência de impactos negativos para estágios subsequentes. Neste trabalho, a Avaliação do Ciclo de Vida é utilizada para identificar os impactos associados à produção de garrafas de polietileno em Teresina-PI, bem como indicar oportunidades de melhorias do seu desempenho ambiental.

2. Metodologia

A avaliação ambiental do processo de moldagem por sopro para a produção de garrafas de polietileno foi realizada conforme os requisitos previstos nas normas ABNT NBR ISO 14040 e 14044 (2009) sobre Avaliação do Ciclo de Vida.

A ACV é desenvolvida em quatro fases. Na primeira, é definido o objetivo e o escopo do estudo. Na segunda fase, denominada Inventário do Ciclo de Vida (ICV), as entradas e as saídas associadas ao processo são identificadas e quantificadas. Na terceira, Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV), os dados da fase anterior são traduzidos em indicadores que refletem as pressões sobre o meio ambiente e a saúde humana. A interpretação corresponde à quarta etapa e deve ser baseada no objetivo e escopo definido (ABNT, 2009ab).

2.1 Definição de objetivo e escopo

- Objetivo – avaliar os processos de produção e transporte de garrafas de polietileno.
- Função do produto – acondicionamento de 500 mL de produto alimentício.
- Unidade funcional – 950 garrafas de 500 mL de polietileno para acondicionamento de produto alimentício (iogurte).
- Fluxo de referência – a massa de uma garrafa é 20,1 g. Logo, o valor do fluxo de referência foi calculado como 19,1 kg.
- Desempenho do produto – garrafa não retornável de 500 mL.
- Qualidade dos dados – a cobertura temporal compreendeu os anos de 2011 e 2012. Quanto à cobertura geográfica, considerou-se a produção de resina termoplástica realizada no pólo petroquímico da região Nordeste e a transformação da resina em Teresina-PI.
- Sistema do produto – os processos elementares considerados neste estudo foram: produção das matérias-primas (PEAD, PEBD e pigmento), transporte das matérias-primas de Recife-



IV CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO PELO CICLO DE VIDA

9 a 12 de novembro de 2014

São Bernardo do Campo – SP – Brasil



PE a Teresina-PI, transformação das matérias-primas em garrafas, através do processo de moldagem por sopro, e distribuição das garrafas para o município de Parnaíba-PI (Figura 1).

- Método de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) e categorias de impacto - o método selecionado foi *ReCiPe Midpoint (E) V1.10 / World Recipe E*, para as seguintes categorias de impacto: eutrofização de corpos d'água doce, toxicidade humana, ecotoxicidade de corpos d'água doce e ecotoxicidade marinha.

2.2 Inventário do Ciclo de Vida

Neste trabalho são utilizados dados primários e dados secundários. Para obtenção dos primeiros, foram realizadas visitas *in loco* em uma indústria que transforma polietileno em garrafas para acondicionamento de produtos alimentícios. Durante as visitas, foram coletadas informações como a origem das matérias-primas utilizadas na indústria e suas respectivas quantidades, as etapas do processo produtivo, o consumo de água e energia.

Os dados secundários foram obtidos nas bibliotecas *Ecoinvent 3* e *USLCI*, disponíveis no banco de dados do *software* SimaPro versão PhD 8.0.3.14 e correspondem à produção do PEAD, PEBD e pigmento e às emissões dos transportes, em que é utilizado o modal rodoviário. Para o cálculo das emissões do transporte das matérias-primas às indústrias transformadoras de plásticos, considerou-se a distância entre as cidades de Recife-PE e Teresina-PI. Para o cálculo das emissões do transporte das garrafas para a indústria que realiza o envasamento para posterior comercialização do produto alimentício, considerou-se a distância entre Teresina-PI e a cidade de Parnaíba-PI por ser o caso mais crítico de distribuição do produto (maior distância).

2.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida

O método de AICV selecionado foi *ReCiPe Midpoint (E) V1.10 / World Recipe E*. Este método é bastante utilizado em estudos de ACV de diversos países.

O método *ReCiPe Midpoint (E)* considera dezoito categorias de impacto: ocupação de terras agricultáveis, mudanças climáticas, depleção de recursos fósseis, ecotoxicidade de corpos d'água doce, eutrofização de corpos d'água doce, toxicidade humana, radiação ionizante, ecotoxicidade marinha, eutrofização marinha, depleção da camada de ozônio, formação de material particulado, formação de oxidantes fotoquímicos, acidificação terrestre, ecotoxicidade terrestre, ocupação do solo urbano, depleção de recursos hídricos, transformação de áreas naturais e depleção de metais.

Após a normalização, que consiste no “cálculo da magnitude dos resultados dos indicadores de categoria com relação a informações de referência” (ABNT, 2009b, p.21), observou-se que os processos analisados tiveram maior influência sobre as seguintes categorias de impacto: eutrofização de corpos d'água doce, ecotoxicidade de corpos d'água doce, ecotoxicidade marinha e toxicidade humana.

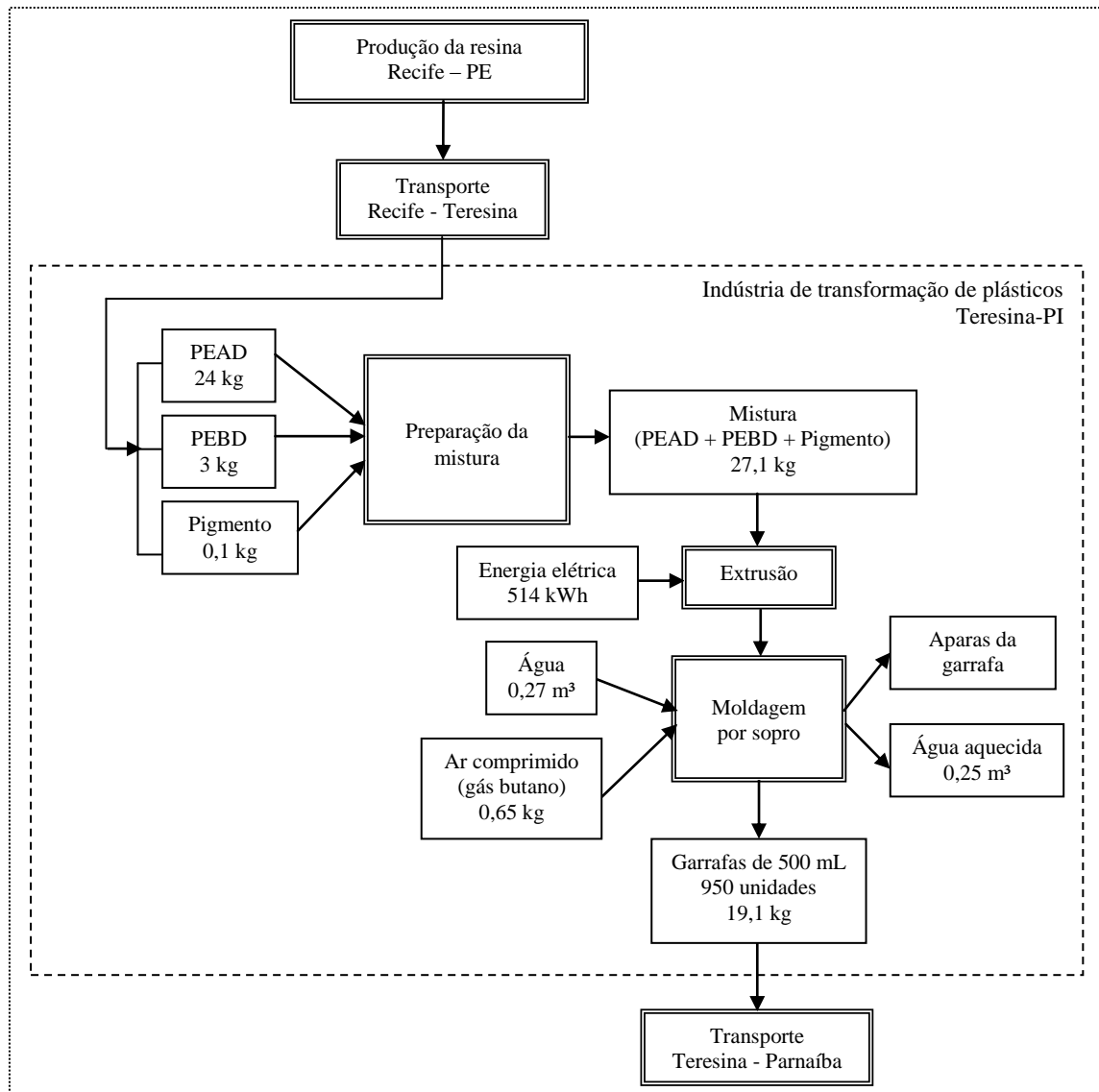


Figura 1 – Sistema de produto referente a etapas do ciclo de vida de garrafas de polietileno

3. Resultados e Discussão

Foram analisados os processos de obtenção das matérias-primas utilizadas na produção das garrafas (PEAD, PEBD e pigmentos); o seu transporte entre Recife-PE e Teresina-PI; o processamento 1, na indústria de transformação, que corresponde à mistura das matérias-primas e a sua extrusão; o processamento 2, etapa em que as matérias-primas passam pelo processo de moldagem por sopro e, por último, o transporte das garrafas para o centro consumidor de Parnaíba-PI. Na modelagem do processo industrial estudado, foi considerada a primeira produção (sem utilização das aparas e reaproveitamento de água).

A utilização do *ReCiPe Midpoint (E) V1.10 / World Recipe E* permitiu visualizar a contribuição de cada processo elementar avaliado (ou etapas do ciclo de vida da garrafa de polietileno) para as categorias de impacto contempladas no método (Tabela 1).

Tabela 1: Contribuição dos impactos potenciais do sistema de produto estudado

Categoria de impacto	Unidade	Total	Produção das matérias-primas	Proces. 1 (mistura e extrusão)	Proces. 2 (moldagem por sopro)	Transporte (Rec-Ter)	Transporte (Ter-Par)
CC	kg CO ₂ eq	180	49,3	122	0,121	7,1	1,54
OD	kg CFC-11 eq	4,96E-6	2,85E-7	4,06E-6	4,25E-9	5,04E-7	1,09E-7
TA	kg SO ₂ eq	0,695	0,203	0,458	0,000809	0,0262	0,00567
FE	kg P eq	0,0416	0,00137	0,0396	4,42E-5	0,000536	0,000116
ME	kg N eq	0,0384	0,00487	0,0321	2,49E-5	0,00113	0,000245
HT	kg 1,4-DB eq	2,05E3	64,9	1,95E3	1,74	29,2	6,33
POF	kg NMVOC	0,608	0,263	0,304	0,000434	0,0335	0,00727
PMF	kg PM10 eq	0,291	0,0638	0,213	0,00031	0,0111	0,00242
TET	kg 1,4-DB eq	0,277	0,00445	0,26	6,62E-5	0,01	0,00217
FET	kg 1,4-DB eq	1,31	0,0802	1,18	0,00325	0,0354	0,00767
MET	kg 1,4-DB eq	1,44E3	63,5	1,34E3	1,83	28,1	6,1
IR	kBq U235 eq	19,1	0,349	18	0,0214	0,58	0,126
ALO	m ² a	17,5	0,0953	17,2	0,00602	0,114	0,0248
ULO	m ² a	1,16	0,174	0,47	0,00465	0,418	0,0905
NLT	m ²	0,121	0,000972	0,118	3,25E-5	0,00219	0,000474
WD	m ³	3,89E3	4,92	3,88E3	0,76	3,88	0,842
MRD	kg Fe eq	10,4	0,256	9,71	0,00681	0,323	0,07
FD	kg oil eq	68,4	44	21,3	0,0299	2,54	0,55

O processamento 1 teve destaque em quase todas as categorias de impacto por causa do elevado consumo de energia elétrica do processo de extrusão. Somente na categoria depleção de recursos fósseis é que a produção das matérias-primas teve maior destaque (64,3%), pois os derivados de petróleo (etileno e propileno) são fontes de recursos naturais não renováveis.

O transporte das matérias-primas e a distribuição das garrafas para os centros consumidores tem efeito mais acentuado na categoria de ocupação do solo urbano. Em conjunto, esses processos elementares respondem por 43,8% dos impactos ambientais associados a atividades como a construção/utilização de estradas e rodovias (desflorestamento, fragmentação de *habitats*, extinção de espécies), tendo em vista que esse material é transportado por modal rodoviário.

Após normalizar a contribuição de cada categoria, segundo valores de referência do método *ReCiPe Midpoint (E)*, emergiram como mais importantes as categorias eutrofização de corpos d'água doce, ecotoxicidade de corpos d'água doce, ecotoxicidade marinha e toxicidade humana. A contribuição do processamento 1 para as categorias eutrofização dos corpos d'água doce e toxicidade humana é acima de 95%, seguida da etapa produção das matérias-primas (3,2%) e do transporte das mesmas do pólo petroquímico em Recife-PE para Teresina-PI (1,4%). O impacto ambiental das atividades descritas é 2,1 vezes maior na categoria ecotoxicidade marinha do que a referência apresentada no método.



IV CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO PELO CICLO DE VIDA

9 a 12 de novembro de 2014

São Bernardo do Campo – SP – Brasil



A partir dos resultados, pode-se inferir quais aspectos determinam os impactos ambientais negativos associados ao sistema de produto pesquisado: 1) utilização de etileno e propileno (derivados do petróleo) na produção de resinas termoplásticas; 2) utilização do diesel (derivado do petróleo) no transporte das matérias-primas e na distribuição do produto final e 3) o uso intensivo de energia elétrica.

A utilização de derivados do petróleo implica na extração e transporte do petróleo bruto às refinarias, bem como nos processos correspondentes para transformação e obtenção do produto desejado. Atividades que podem resultar na contaminação do solo e/ou corpos d'água, além da emissão de gases que poluem a atmosfera e trazem prejuízos ao ambiente e à saúde humana.

No que se refere ao uso intensivo de energia elétrica, é importante considerar a diversidade de fontes existentes na matriz energética brasileira (hidráulica, gás natural, biomassa, derivados de petróleo, nuclear, carvão e derivados e eólica). Os impactos correspondentes à cada uma dessas fontes incidem em maior ou menor grau sobre as categorias de impacto analisadas.

4. Considerações finais

Para efeito de interpretação, pode-se agrupar os processos elementares analisados em três etapas: 1) produção de matéria-prima; 2) processo produtivo na indústria de transformação e 3) transporte da matéria-prima e da garrafa. Dessas etapas, o processo produtivo foi o que mais se destacou na contribuição para as categorias de impacto cobertas pelo *ReCiPe Midpoint (E)* e, em particular, nas categorias que se revelaram mais importantes após a normalização.

A principal intervenção que pode trazer melhorias ambientais no sistema de produto estudado corresponde a mudanças na indústria de transformação de polietileno, destacando-se a eficiência energética. Isso porque, o consumo de energia elétrica é o impacto mais significativo do ponto de vista ambiental para o produto plástico transformado em Teresina-PI.

O fato da produção da matéria-prima não causar impacto significativo, quando comparado ao desenvolvimento do processo produtivo, indica que pouco ganho ambiental é atingido com a reciclagem mecânica do polietileno. Além de demandar consumo adicional de energia elétrica para os processos de lavagem, secagem e extrusão para obtenção da resina reciclada e, posteriormente, nova extrusão para obtenção do produto final; há redução no mercado do produto final; pois o reciclado tem limitações de uso, como na indústria alimentícia.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem o CNPq pelo financiamento do projeto de pesquisa (471500/2012-7).

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Norma Técnica (2009a). **ABNT NBR ISO 14040:2009** - Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 21 p.

_____. (2009b). **ABNT NBR 14044:2009** – Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 46 p.