



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

CURSO DE ENGENHARIA DO AMBIENTE

Trabalho de Licenciatura

Aplicação do *Software OpenLCA* na Avaliação do Ciclo de Vida de Embalagens e Recipientes Plásticos na empresa Topack Moçambique

Autora: Hercínia De Kátia Nhabanga

Supervisor: Prof.Doutor Joao Chidamoio,Eng^o.

Co-supervisor: Edson Mucavele,Eng^o.

Maputo, Novembro de 2023



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

CURSO DE ENGENHARIA DO AMBIENTE

Trabalho de Licenciatura

Aplicação do *Software OpenLCA* na Avaliação do Ciclo de Vida de Embalagens e Recipientes Plásticos na empresa Topack Moçambique

Autora: Hercínia De Kátia Nhabanga

Supervisor: Prof. Doutor João Chidamoio, Eng^o.

Co-supervisor: Edson Mucavele, Eng^o.

Maputo, Novembro de 2023

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA_____

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante_____.

Entregou no dia ____/____/20__as____ copias do seu Trabalho de Licenciatura
com _____ a _____ Referência:

_____intitulado:_____

Maputo, ____ de _____ de 20____

A Chefe da Secretaria

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Hercínia de Kátia Nhabanga, declaro por minha honra que o presente trabalho de licenciatura não foi aceite em nenhum outro lugar como trabalho de culminação do curso. Estudos de outras pessoas foram usados no presente trabalho e devidamente referenciados.

Assinatura_____

Data:___/___/_____

(Hercínia De Kátia Nhabanga)

Dedicatória

Dedico o meu trabalho de licenciatura a toda minha família, particularmente aos meus pais Luisa Mondlane, Isabel Mondlane e Custódio Mucavele, Avó Artimiza Mondlane, irmãos, tios e amigos.

Agradecimentos

Em primeiro lugar a Deus, pois sem ele não teria capacidades para desenvolver este trabalho.

A todas pessoas que directa ou indirectamente, contribuíram para a minha formação.

Especial atenção, vai para todo o corpo docente do Departamento de Engenharia Química e a ele ligados, com destaque para o meu supervisor João Chidamoio e co-supervisor Edson Mucavele pois sem eles, não teria conseguido concluir esta desafiadora tarefa.

Ao responsável da fábrica Topack Moçambique, pelo apoio concedido a minha pessoa, com destaque para o senhor Abílio Massango.

Aos meus colegas do curso de Engenharia do Ambiente e amigos, pela ajuda prestada ao longo desta longa caminhada.

Resumo

O presente trabalho visa ao estudo de caso em que o propileno de alta densidade (PE-AD) e de baixa densidade (PE-BD), produzidas pelas empresas Topack foram analisadas em termos do seu desempenho ambiental. O método de análise do ciclo de vida foi aqui adoptado. A fronteira da presente análise foi estabelecida desde a aquisição da respectiva matéria-prima, o seu transporte, processamento e o destino do material. O OpenLCA, é um software de código aberto, foi usado para esse fim, em diferentes categorias de impacto permitido. O estudo foi feito normalizando 1000kg de sacos de PE-BD e 1000 unidades de PE-AD. Para condições em estudo, verificou-se um aumento proporcional dos impactos com o aumento da quantidade processada, a fracção de incineração e para a fracção de reciclo dos dois polímeros. Apenas a depleção abiótica de combustíveis fósseis sofreu influência no estudo da origem da matéria-prima, para os dois polímeros. Os resultados obtidos neste estudo ressaltaram há necessidade de tomada de medidas para desacelerar o ritmo da degradação ambiental, propiciada pela produção desenfreada do material plástico sintético e adopção de medidas sustentáveis. Estas medidas podem incluir a pirólise dos materiais plásticos, produção de diesel, plásticos biodegradáveis e inovar o processo de incineração

Palavras-chaves

Ciclo de vida, Embalagens e recipientes plásticos, *Software OpenLCA*, PE-AD e PE-BD.

ÍNDICE

Capítulos	Páginas
Índice.....	viii
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. JUSTIFICATIVA/PROBLEMA.....	2
1.2. Objectivos.....	4
1.3. Metodologia.....	4
CAPÍTULO II.....	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1. Conceitos.....	6
2.2. Elementos, fases e processos envolvidos no ciclo de vida de embalagens e recipientes plásticos.....	9
2.2.4.1. Polietileno de Alta Densidade - PEAD.....	13
2.2.4.2. Policloreto de Vinila - PVC.....	14
2.2.4.3. Polietileno de Baixa Densidade – PEBD.....	14
2.2.4.4. Polipropileno - PP.....	14
2.2.4.5. Poliestireno - PS.....	15
2.2.4.6. Etil Vinil Acetato- EVA.....	15
2.3. Mercado dos plásticos no mundo.....	16
2.4. Avaliação do ciclo de vida.....	17
2.5. Resíduos plásticos e seus impactos ambientais.....	21
2.6. Enredamento.....	22

2.7. Gestão dos resíduos plásticos	24
2.8. Quadro legal moçambicano sobre a gestão de resíduos plásticos	27
2.9. Medidas universais a serem tomadas para melhoria ambiental no ciclo de vida de embalagens e recipientes plásticos.....	29
2.10. Descrição do funcionamento do software Open LCA.....	30
CAPÍTULO III	31
3. PROCEDIMENTOS E MÉTODOS	31
CAPÍTULO IV.....	32
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	32
Capítulo V	52
5. CONCLUSÕES, MEDIDAS DE MITIGAÇÃO E RECOMENDAÇÕES	53
5.1. Conclusões.....	53
5.2. Medidas de mitigação	Erro! Indicador não definido.
5.3. Recomendações	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

Lista de Abreviaturas, Símbolos e Siglas

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ACV	Análise do Ciclo de Vida
ACVS	Avaliação do Ciclo de Vida Social
CCV	Custo do Ciclo de Vida
CFC	Clorofluorcarbonetos
DAP	Declaração Ambiental do Produto
PE-AD	Polietileno de Alta Densidade
PE-BD	Polietileno de Baixa Densidade
PET	Polietileno de Tereftalato
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de Vinila
NAFTA	North American Free Trade Agreement

Lista de Tabelas

Tabela 1-Algumas informações úteis para a simulação	35
Tabela 2-Resultados da simulação para os sacos plásticos	38
Tabela 3-Resultados da simulação para as garrafas de PE-AD	38
Tabela 4-Dados de suporte do presente estudo	49

Lista de Figuras

Figura 1-Sacolas e resinas plásticas. Fonte: indiamart.com	10
Figura 2-Diversidade de embalagens plásticas, usadas no nosso dia-a-dia. Fonte: rainpet.com	11
Figura 3-Ciclo de vida das embalagens plásticas. Fonte: chamfer.com.br	13
Figura 4-Produção do plástico no Mundo. Fonte: adaptado de PLASTICS EUROPE, 2016	16
Figura 5-Ciclo de vida de embalagens plásticas. Fonte: Santos, 2014	17
Figura 6-Enredamento de plásticos em Tartarugas. Fonte: https://www.jd1noticias.com/	22
Figura 7-Ingestão de plásticos por Peixes. Fonte: https://www.istockphoto.com/	23
Figura 8-Degradação de habitat marinho. https://expressodasilhas.cv/	23
Figura 9-Fluxograma que representa de forma esquemática as fronteiras do estudo da Avaliação do Ciclo de Vida dos sacos plásticos de Polietileno de Baixa Densidade e das garrafas de Polietileno de Alta Densidade.....	31
Figura 10-Fluxos de entrada para simular o processo de produção de 1000 kg de sacos plásticos	33
Figura 11-Fluxos de entrada para simular o processo de produção de 1000 unidades de garrafas de Polietileno de Alta Densidade	33
12-Modelo de avaliação do ciclo de vida da produção de sacos plásticos.....	34
Figura 13-Modelo para a ACV da produção de sacos plásticos.....	36
Figura 14-Modelo para a ACV da produção de garrafas de PE-AD	36
Figura 15-Polímeros usados pela Topack (procurar melhor enquadramento para esta figura dentro do trabalho).....	51
Figura 16-Grânulos virgens de PE-AD e PE-BD (procurar melhor enquadramento para esta figura dentro do trabalho)	51

Lista de Gráficos

Gráfico 1-Efeito da quantidade processada - Sacolas Plásticas	40
Gráfico 2-Efeito da quantidade processada - Garrafas Plásticas.....	41
Gráfico 3-Efeito da fracção de incineração - Sacolas Plásticas	42
Gráfico 4-Efeito da fracção de incineração - Garrafas Plásticas	43
Gráfico 5-Efeito da fracção de reciclo - Sacolas plásticas.....	44
Gráfico 6-Efeito da fracção de reciclo - Garrafas plásticas	45
Gráfico 7-Efeito da proveniência da matéria-prima - Sacolas Plásticas.....	47
Gráfico 8-Efeito da proveniência da matéria-prima - Garrafas Plásticas.....	47

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

Os primeiros plásticos totalmente sintéticos surgiram no século XX, com a invenção da Baquelita, um substituto para o marfim de elefantes e para os cascos e chifres de bovinos (Fortuna, 2020). Segundo a mesma autora, a versatilidade desses materiais, aliada aos baixos custos, foi responsável por sua grande disseminação, sendo produzidos e utilizados em larga escala a partir dos anos 1950.

Actualmente, os plásticos são materiais produzidos a partir do petróleo, matéria-prima bastante explorada no mundo pois é barato, durável e versátil, facto que facilita o desenvolvimento de produtos e beneficia a sociedade de diversas maneiras. Os plásticos podem inclusive, diminuir o consumo energético e emissões de gases de efeito estufa em diversas circunstâncias em comparação com certas alternativas do mercado ou fazerem isso, independentemente da concorrência como no caso de insolamento térmico e aplicações em sistemas de geração de energia solar e fotovoltaica (Oliveira M. C., 2012).

Entretanto, os resíduos sólidos, vêm-se tornando um dos maiores problemas para toda humanidade e que só tende a aumentar a cada ano, motivado pelo consumo desenfreado, principalmente de produtos industrializados, acondicionados em embalagens descartáveis que atendem aos apelos de comodidade e praticidade da vida moderna.

Segundo (Oliveira, 2012), apesar dos diversos benefícios que o plástico traz para a sociedade, seus resíduos são prejudiciais. O grande volume dos materiais plásticos, a enorme quantidade de descarte pós-consumo e os impactos ambientais causados pela deposição incorrecta dos resíduos não biodegradáveis, são apenas alguns dos problemas a serem citados. Além disso, os plásticos podem causar danos á saúde dos seres humanos e de outros animais, principalmente por causa dos aditivos e químicos utilizados no seu fabrico.

1.1. JUSTIFICATIVA

O plástico é o material mais usado no fabrico de embalagens e recipientes do uso diário, pelo baixo custo de aquisição. Porém, este facto faz com que a geração de resíduos destes materiais, seja cada vez mais elevada, chegando a causar vários impactos ambientais negativos, desde problemas estéticos, poluição do solo, da água, chegando a pôr em causa a biodiversidade, com destaque para a biodiversidade marinha e costeira.

No meio ambiente, o plástico pode trazer danos como (2018,ONU):

- Levar mais de 400 anos para se decompor;
- Dificultar a decomposição de outros resíduos, reforçando ainda mais a superlotação dos aterros;
- Estima-se que até 2050, haverá mais plástico nos oceanos do que peixes;
- O plástico é responsável pela morte de 100 000 (cem mil) animais marinhos a cada ano;
- 91% do plástico utilizado no mundo não é reciclado.

Na saúde, o plástico pode trazer danos como:

- Puberdade precoce;
- Distúrbios da tireóide;
- Câncer de mama, ovário e testículo.

Estudos mostram que, existe uma relação e evidências de experiências em laboratórios que possam causar essas doenças, devido ao uso do plástico no nosso dia-a-dia (Sponchiato, 2019).

O plástico é um material muito resistente ao ataque químico e microbiológico, o que faz com que o seu tempo de vida na natureza seja longo, causando danos severos ao meio ambiente. Por esta razão, torna-se necessário se conhecer o ciclo de vida destes materiais assim como os impactos por ele causado, desde a produção até ao descarte.

1.1.1. Problemática do Plástico em Moçambique

Em Moçambique, o plástico é um problema grave devido a deficiência na recolha, reciclagem e no uso excessivo do mesmo. Não é explorada a segregação dos plásticos após o seu primeiro uso, facto que ocasiona uma situação de difícil reciclagem económica. Nesses termos, a deposição final em aterros, acaba se tornando na alternativa mais viável.

Porque grande parte da população joga o saco plástico no chão depois de usá-lo, acaba causando um grande problema quando chove, pois, o plástico acaba parando nas valas de drenagem, impedindo desta forma a passagem/fluxo das águas pluviais.

1.2. Relevância do trabalho

A relevância deste estudo, reside em avaliar os diferentes impactos associados ao ciclo de vida das embalagens e recipientes plásticos, considerando as etapas de produção, distribuição, uso e destino final.

No fabrico de sacolas plásticas, o processo de produção depende fortemente do petróleo na actualidade, principal matéria-prima e com origem fóssil. Avaliando o ciclo de vida das embalagens e recipientes plásticos, toda a gama de impactos associados a produção das sacolas plásticas, pode ser analisada.

O material usado para produzir sacolas plásticas, deve ser analisado no sentido de avaliar qualitativa ou quantitativamente, os seus danos ao meio ambiente. Os diversos meios de transporte que levam as sacolas plásticas para as fábricas e desta última para os consumidores, também podem ser inspeccionados, avaliando a quantidade do combustível fóssil usado, processo este que liberta gases de combustão para a atmosfera.

Nesse trabalho, o estudo foi conduzido recorrendo ao uso do software OpenLCA, um software de código aberto, no qual a quantificação dos impactos, associado a cada processo de produção de materiais plásticos, já estão compilados. A título de exemplo, a quantidade libertada de gases para o ambiente, associada a cada meio de transporte, está compilada em várias bases de dados, especificamente para o uso, aquando da manipulação deste *software*. O mesmo se pode dizer praticamente, sobre as demais etapas produtivas.

1.3. Objectivos

1.3.1. Objectivo geral do trabalho

O objectivo geral do presente estudo de caso consistiu em Aplicar o *software OpenLCA* na avaliação do ciclo de vida de embalagens e recipientes plásticos, na empresa Topack Moçambique.

1.3.2. Objectivos específicos

Com vista a se alcançar o objectivo proposto, foram desenvolvidas as seguintes actividades ou procurou-se obter os seguintes dados:

- Identificar e quantificar os impactos ambientais, decorrentes de todo processo, relacionado com a produção, deposição final de embalagens e recipientes plásticos e reciclagem dos produtos estudados;
- Propor medidas para a melhoria ambiental, no ciclo de vida de embalagens e recipientes plásticos, condicentes com a realidade do local de estudo.

1.4. Metodologia

Para se alcançar os objectivos do presente trabalho realizou-se:

- Uma pesquisa bibliográfica a qual consistiu na revisão/consulta de artigos, manuais, teses e sites de internet, em volta do conceito de Aplicação do software OpenLCA na avaliação do ciclo de vida de embalagens e recipientes plásticos na empresa Topack Moçambique, nos processos envolvidos na produção dos materiais plásticos. Fez-se o levantamento de informações de carácter ambiental como legislação, técnicas e metodologias adoptadas para a identificação dos impactos, decorrentes da produção de embalagens e recipientes plásticos, visando propor medidas para a melhoria ambiental.
- Realizou-se o trabalho de campo, baseado em entrevista a uma grande empresa na cidade de Maputo, relacionado com todo o processo de produção de embalagens e recipientes plásticos;

- Apresentou-se e discutiu-se os resultados;
- Elaborou-se o relatório final.

1.4.1. Material e equipamento usado

-Cadernetas,Máquina fotográfica,Canetas,Lapís e Gravador.

CAPÍTULO II

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Não achei trabalhos de gênero pois não existem. Dos existentes, usaram o *software OpenLCA* para determinar o ciclo de vida da produção de Pallets de madeira, Alumínio e garrafas pet's.

2.1. Conceitos

Ciclo de vida de um produto: é uma ferramenta que engloba diversos estágios consecutivos desde a aquisição da matéria-prima até a sua deposição final (descarte ou reutilização) (ABNT, 2009a).

Avaliação do ciclo de vida: é um método para o cálculo dos impactos ambientais, directos e indirectos, de um produto ou serviço em todo seu ciclo de vida, desde a aquisição da matéria-prima até o fabrico, uso e deposição final (BRUSSEAU, 2019).

Embalagem: é um material destinado a garantir a conservação, transporte e manuseio dos alimentos.

Software: é o conjunto de instruções que devem ser seguidas e executadas por um mecanismo, como por exemplo, um computador ou outro aparelho electrónico.

OpenLCA: é um *software* profissional de código aberto e multiplataforma, usado para avaliar a sustentabilidade de produtos que permite a modelagem profissional do ciclo de vida de produtos.

Potencial de aquecimento global: Diz respeito ao lançamento para a atmosfera, de gases poluentes que contribuem para o efeito de estufa que absorvem radiações infravermelhas, traduzido no aumento da temperatura global (Alhazmi *et al*, 2021). É o mais usado indicador na análise do ciclo de vida. Dentre os principais gases citam-se o dióxido de carbono, Clorofluorcarbono, Clorofórmio, Metano, Metil-bromo, Metil-cloro, Halon, Tetrafluorcarbono, Cloro-metileno, Óxido de nitrogénio, sendo muito comum utilizar

como unidade de medida o Dióxido de carbono equivalente. Essa variável, é expressa em quilogramas de CO₂ equivalentes (Mannheim, 2021).

Potencial de Acidificação: Refere-se aos impactos derivados do lançamento para a atmosfera, água e solo, de substâncias que atingem os ecossistemas, como a dissolução de gases na água da chuva ou ao se depositarem em corpos de água, com impactos local, regional, continental e até mesmo global. Neste item, analisam-se emissões de Amónia (NH₃), Ácido clorídrico (HCl), Cianeto de hidrogénio (HCN), Fluoreto de hidrogénio (HF), Sulfureto de hidrogénio (H₂S), Óxidos de nitrogénio (NO_x), Óxidos de enxofre (SO_x) e Ácido sulfúrico (H₂SO₄).

A indústria do plástico, contribui na toxicidade, ao ser responsável no lançamento de muitas das substâncias mencionadas, adicionadas ao di-metil ftalato. Essa variável, é expressa em quilogramas de SO₂ equivalentes (Alhazmi *et al*, 2021).

Potencial de Eutrofização: Corresponde ao lançamento de nutrientes minerais para água e solo, em quantidades que causem o crescimento desequilibrado de algumas espécies. Leva em consideração, quantificações de Amónia (NH₃), Óxidos de nitrogénio (NO_x), Óxido nitroso (N₂O), compostos de Fósforo e Nitrogénio, iões nitrato e nitrito, dentre outros. As consequências variam desde a libertação de toxinas, a redução da quantidade de luz e oxigénio na água, facto que periga outras formas de vida. Essa variável, é expressa em quilogramas de PO₃ equivalentes (Ugaya *et al*, 2019; Alhazmi *et al*, 2021).

Depleção da Camada de Ozono: Refere-se a substâncias que atacam a camada de Ozono, provocando sua redução. Como consequência, há riscos à saúde humana, fauna e flora, já que haverá, nesse caso, um aumento na quantidade de raios ultravioletas que atingem a superfície terrestre. Dentre as substâncias quantificadas, tem-se Tetraclorocarbono, Clorofluorcarbono, Halon, Metil bromo, dentre outros. Essa variável é expressa em quilogramas de CFC-11 equivalentes (Ugaya *et al*, 2019; (Silva, 2015)

Ecotoxicidade aquática e marinha: Este impacto diz respeito ao lançamento de substâncias para o ambiente, que comprometem o ecossistema terrestre e aquático. Existem mais de 150 substâncias potencialmente tóxicas para o meio ambiente. A emissão de substâncias tóxicas, relacionadas a produção dos agregados leves, pode provocar danos em diferentes espécies na água.

Diversas substâncias, podem provocar a ecotoxicidade como por exemplo os metais pesados, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs) e compostos orgânicos voláteis, não-metano. Concentrações elevadas de substâncias tóxicas na água, podem comprometer a sua autodepuração, causando danos a fauna e flora, inserida no corpo hídrico. A unidade de medida é kg 1,4-diclorobenzeno (C₆H₄Cl₂) equivalente (Ferreira, 2004; Alhazmi *et al*, 2021).

Potencial de oxidação fotoquímica: O potencial de formação de oxidantes fotoquímicos, indica os efeitos da reacção de óxidos de nitrogénio com substâncias orgânicas voláteis, sob influência de raios ultravioletas, resultando em oxidantes fotoquímicos. Os poluentes primários, resultantes das emissões de veículos, principalmente hidrocarbonetos e óxidos de nitrogénio, reagem na atmosfera sob acção da luz solar, formando compostos secundários como Ozono e Aldeídos. O efeito visível é a formação de um nevoeiro ou smog fotoquímico, constituído por gases poluentes primários e secundários (Ferreira, 2004; Mannheim, 2021).

Depleção abiótica: Refere-se à categoria de impacto ambiental associado a diminuição da quantidade de recursos naturais não renováveis, provocada pelo seu consumo pelos seres humanos. A unidade de medida é kg de Antimónio (Sb) equivalente (Silva *et al*, 2015).

Toxicidade humana: O potencial de toxicidade humana, indica os efeitos relacionados com a exposição do homem a substâncias tóxicas no ar, água ou solo, para saúde

humana. Dentre as substâncias que provocam toxicidade a saúde humana, podem ser citados os metais pesados, óxidos de nitrogénio (NOx), material particulado e óxidos de enxofre (SOx) (Silva *et al*, 2015; Ferreira, 2004).

Algumas dessas substâncias, são libertadas durante a queima de combustíveis fósseis e podem causar danos ao sistema respiratório dos indivíduos expostos aos poluentes, podendo influenciar no processo de autodepuração da água, causando danos a fauna e flora inserida no corpo hídrico. Do mesmo modo, substâncias tóxicas podem causar impactos aos ecossistemas terrestres. A unidade de medida é kg 1,4-diclorobenzeno (C₆H₄Cl₂) equivalente (Alhazmi *et al*, 2021).

2.2. Elementos, fases e processos envolvidos no ciclo de vida de embalagens e recipientes plásticos

2.2.1. Plásticos

O plástico é um produto orgânico, que provém maioritariamente do petróleo, mais precisamente do Nafta, que é um composto incolor e volátil, usado como matéria-prima em indústrias no processo de refinamento, que serve de base para resinas, solventes e outros produtos.

O petróleo é constituído por uma mistura de compostos orgânicos, principalmente hidrocarbonetos. Através do processo de destilação fraccionada do Crude, que ocorre nas refinarias, são obtidas várias fracções como Gás liquefeito, Nafta, Gasolina, Querosene, Óleo diesel, Graxas parafínicas, Óleos lubrificantes, Piche, dentre outros (Rosa & Ortiz, 2014).

O Nafta é submetido a um processo de craqueamento térmico, dando origem a várias substâncias, dentre elas o Etileno, Propileno, Butadieno, Buteno e Isobutileno. Estes, por sua vez, são transformados nos chamados petroquímicos finos (resinas), tais como Polietileno, Polipropileno, Policloreto de vinila, etc. Na etapa subsequente, os petroquímicos finos são modificados quimicamente ou transformados em produtos de consumo final, segundo ilustra a figura 1 (Piatti & Rodrigues, 2005).



Figura 1-Sacolas e resinas plásticas. Fonte: indiamart.com

Quimicamente o plástico é um composto de muitos carbonos, elemento essencial pela sua capacidade de fazer diferentes combinações químicas, inclusive consigo mesmo. Seus átomos são estruturados em moléculas menores, os monómeros, que, por sua vez, combinam entre si e com outros, neste caso os co-polímeros, por meio de reacções químicas. Esse processo é chamado de polimerização, que dá origem a macromoléculas ou polímeros, que também se interligam (Franchetti & Marconato, 2003).

As principais características dos plásticos tais como a leveza, resistência e especialmente a versatilidade, oferecem amplas possibilidades de diferenciação de produtos transformados. Além disso, quando comparados com outros materiais, os plásticos oferecem benefícios em termos de custo de obtenção, produção, desempenho e flexibilidade. Este conjunto de vantagens, torna os plásticos produtos substitutos para um número cada vez maior de materiais (Hitakura *et al.*, 2008).

Os plásticos são divididos em dois grupos, de acordo com suas características de fusão ou derretimento em termoplástico e termorrígido (Cuccato, 2014).

Termoplástico é o polímero que a elevadas temperaturas a maleabilidade aumenta, chegando a um ponto semelhante ao de materiais fundidos, tendo como exemplo o Polipropileno, Polietileno, PVC, dentre outros.

Termorrígido é aquele que, uma vez moldado, não pode ser fundido e remodelado, isto é, não é reciclável mecanicamente. Temos como exemplos a Baquelite, Poliuretano (PU), Poliacetato de Etileno Vinil (EVA), Poliéster, Resina fenólica, dentre outros (Cuccato, 2014).

2.2.2. Embalagens plásticas

As primeiras embalagens plásticas, surgiram pela necessidade de sobrevivência do homem primitivo, facto que o obrigou a criar recipientes feitos de materiais muito diferentes, dos actualmente utilizados. Logicamente, essas matérias-primas, eram muito pouco manipuladas, usadas em estado natural, sem qualquer benefício, como conchas marinhas, cascas de castanhas ou de coco, que provavelmente devem ter sido as primeiras embalagens utilizadas para beber e estocar/guardar alimentos. Com o passar do tempo, as embalagens que constam na figura 2, passaram a ser fabricadas a partir da habilidade manual do homem, pela descoberta de novos materiais, técnicas e tecnologias (Cortez, 2010).



Figura 2-Diversidade de embalagens plásticas, usadas no nosso dia-a-dia. Fonte: rainpet.com

Como referenciado acima, é do refino, principalmente do petróleo, que se obtém a matéria-prima para o fabrico do plástico.

Segundo (Oliveira & Cunha (2000), o plástico encontrado no final do processo de polimerização, sob a forma de grânulos, pode conter impurezas ocasionais ou provenientes deste processo e aditivos incorporados, para conferir propriedades específicas aos polímeros, durante a sua transformação assim como em produtos acabados tais como:

- **Plasticisadores** - com papel duplo que, por um lado, aumentam a processabilidade do plástico, permitindo baixar a temperatura de transformação. Por outro lado, garantem maior deformabilidade e menor fragilidade ao produto acabado;
- **Estabilizantes** - juntam-se as resinas, para evitar a sua degradação, por agentes físicos e químicos (calor, radiação UV, etc.). É comum utilizar o nome do estabilizador com os aditivos destinados a evitar a degradação do PVC e os seus co-polímeros, reservando o nome de antioxidantes, para os estabilizadores de poliolefinas e elastómeros;
- **Corantes e pigmentos** - para dotar a matéria plástica de uma cor particular;
- **Agentes anti-estáticos** - para reduzir a atracção de poeiras devido á electricidade estática;
- **Agentes anti-choque** - que dotam o plástico de maior resistência a impactos;
- **Retardantes de chama** - para aumentar a resistência á combustão.

Os produtos plásticos utilizados no dia-a-dia, são obtidos a partir da transformação do plástico granulado por uma indústria transformadora deste sector, por diversos processos, tais como extrusão, injeção, sopro, termoformagem, calandragem (Oliveira & Cunha, 2007; Hitakura *et al.*, 2008) e depois seguem ao consumo, reuso ou reciclagem (Figura 3).

A Figura 3, mostra um modelo simplificado e intuitivo daquilo que se pode designar o ciclo de vida de um material plástico. Nele, são visíveis as etapas por que se deve passar, visando materializar um elemento polimérico e os posteriores eventuais destinos dos mesmos, tipicamente em aterros, reciclagem e compostagem.

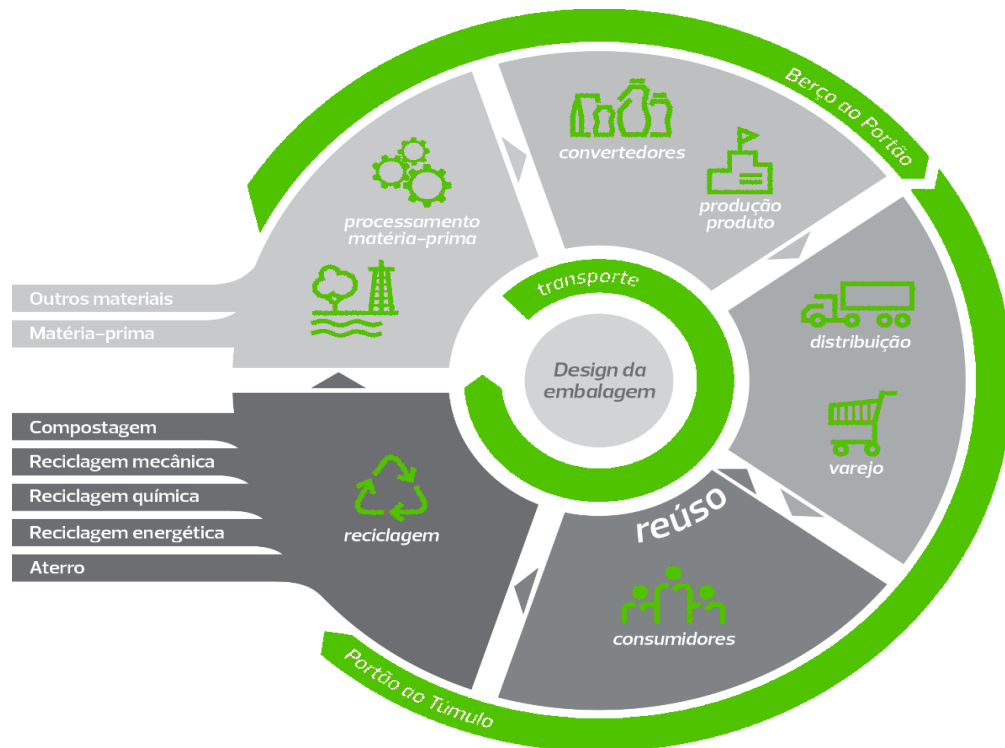


Figura 3-Ciclo de vida das embalagens plásticas. Fonte: chamfer.com.br

2.2.3. Tipos de plásticos e suas aplicações no fabrico de embalagens

As principais resinas termoplásticas utilizadas no processo de transformação são o Polietileno de baixa ou alta densidade (PEBD/PEAD), Polipropileno (PP), Policloreto de vinila (PVC), Poliestireno (PS) e Polietileno de tereftalato (PET).

a) Polietileno de Tereftalato - PET

O PET é utilizado principalmente para a produção de garrafas de refrigerantes e águas minerais. Tem características especiais para essa aplicação o baixo custo, a leveza e a resistência ao impacto, além de cumprir o mesmo papel das garrafas de vidro, em proteger o conteúdo e não permitir a libertação do gás (Hitakura *et al.*, 2008).

b) Polietileno de Alta Densidade - PEAD

O PEAD é um tipo de termoplástico derivado do Eteno, que apresenta alta resistência ao impacto, inclusive a baixas temperaturas, para além de possuir boa resistência contra agentes químicos. Tem, portanto, uma grande aplicação no sector de embalagens. É um dos tipos de plásticos introduzidos comercialmente após a segunda guerra mundial e,

actualmente é o quarto mais vendido no mundo. É também a segunda resina mais reciclada no mundo (Piatti, Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais (Piatti & Rodrigues, 2005).

O PE-AD, na forma sem pigmentos, é usado nas embalagens de produtos alimentícios como frascos de lacticínios, água mineral e sucos de frutas. Quando pigmentado é usado em frascos de maior volume, para detergentes de roupa, frascos de higiene e limpeza, branqueadores, óleo de motor, etc. Quando processado através de extrusão, gera os filmes para a confecção das sacolas plásticas usadas em supermercados (Hitakura *et al.*, 2008).

c) Policloreto de Vinila - PVC

É um material bastante resistente às substâncias químicas e possui elevada resistência mecânica. É necessário o uso de estabilizadores para o seu processamento para evitar degradabilidade por causa de imperfeições estruturais. Na área de embalagens é usado no fabrico de películas, laminados, garrafas, caixas de alimentos, etc (Oliveira, 2012).

d) Polietileno de Baixa Densidade – PEBD

O PEBD assim como o PEAD, são derivados do Eteno, com grande leveza e flexibilidade embora resistente. É empregue nas embalagens de alimentos, especialmente as de empacotamento automático, sacos industriais, sacos para lixo, filmes flexíveis, lonas agrícolas, bolsas, frascos para cosméticos, medicamentos e alimentos (Hitakura *et al.*, 2008).

e) Polipropileno - PP

O Polipropileno é produzido a partir do Gás propileno que é um subproduto da refinação do Petróleo. É caracterizado por uma resistência química mais elevada, soldável e facilmente moldável, além de ser o mais leve dos plásticos.

No sector de embalagens é muito utilizado para moldar tampas, pequenos frascos, rótulos para garrafas de refrigerante, potes de margarina, remédios, produtos químicos e sacarias (Fortuna, 2020).

f) *Poliestireno - PS*

O PS é também é um plástico facilmente moldável sob a acção do calor. Entretanto, é duro e quebradiço, com grande transparência. Na área de embalagens é usado na forma transparente para copos descartáveis e na forma de espuma, para o fabrico de recipientes isolantes para comida, caixas para ovos, entre outros (Hitakura *et al.*, 2008).

g) *Etil Vinil Acetato- EVA*

É um material flexível, que possui boa elasticidade e pode ser transparente. É resistente á várias substâncias químicas e possui uma boa resistência mecânica. Possui elevada resiliência a baixas temperaturas. Na área de embalagens, é usado na produção de sacaria industrial de alta resistência e filmes especiais (Oliveira, 2012).

2.3. Mercado dos plásticos no mundo

A produção mundial do plástico em 2015 foi de 322 milhões de toneladas (Figura 4). Os maiores produtores de material plástico (termoplásticos e poliuretanos) no mundo, são a China que representa 27,8% do mercado (90 milhões de toneladas), o restante da Ásia, constituindo 16,6% do mercado (54 milhões de toneladas).

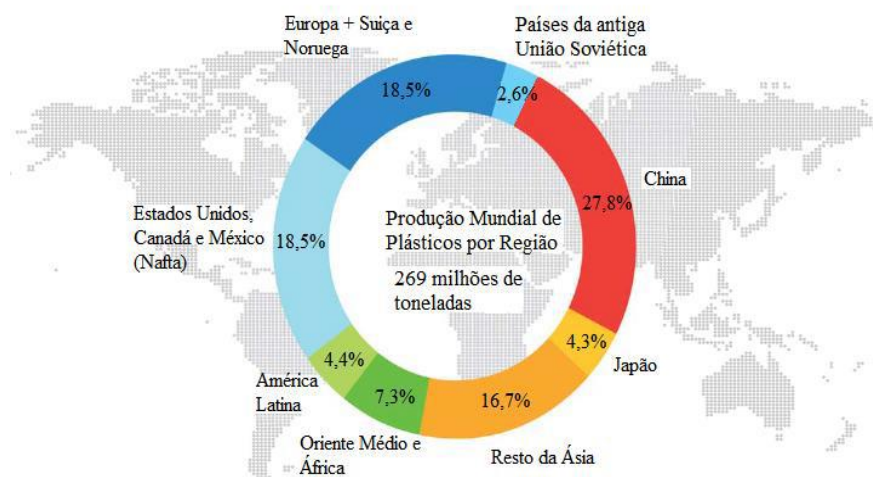


Figura 4-Produção do plástico no Mundo. Fonte: adaptado de PLASTICS EUROPE, 2016

A Europa e NAFTA (Estados Unidos, Canada e México), encontram-se empatados em terceiro, com 18,5% do mercado (60 milhões de toneladas). A produção de plásticos pela América Latina representou 4,4% do mercado em (PLASTICS EUROPE, 2016).

Tomando como referência a União Europeia, segundo maior produtor de plásticos do mundo, o sector de embalagens é o que mais demanda polímeros, representando 40% do mercado em 2015 e as resinas que representam a fatia do mercado em termos de demanda são os Polietilenos e os Polipropilenos (PLASTICS EUROPE, 2016).

2.4. Avaliação do ciclo de vida

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), é uma metodologia utilizada para avaliar os impactos ambientais causados por um produto, processo ou actividade, durante o seu ciclo de vida, incluindo todas as entradas e saídas do sistema, o uso de energia, materiais e substâncias utilizados nos processos assim como as emissões e resíduos libertados no meio ambiente (Oliveira, 2012).

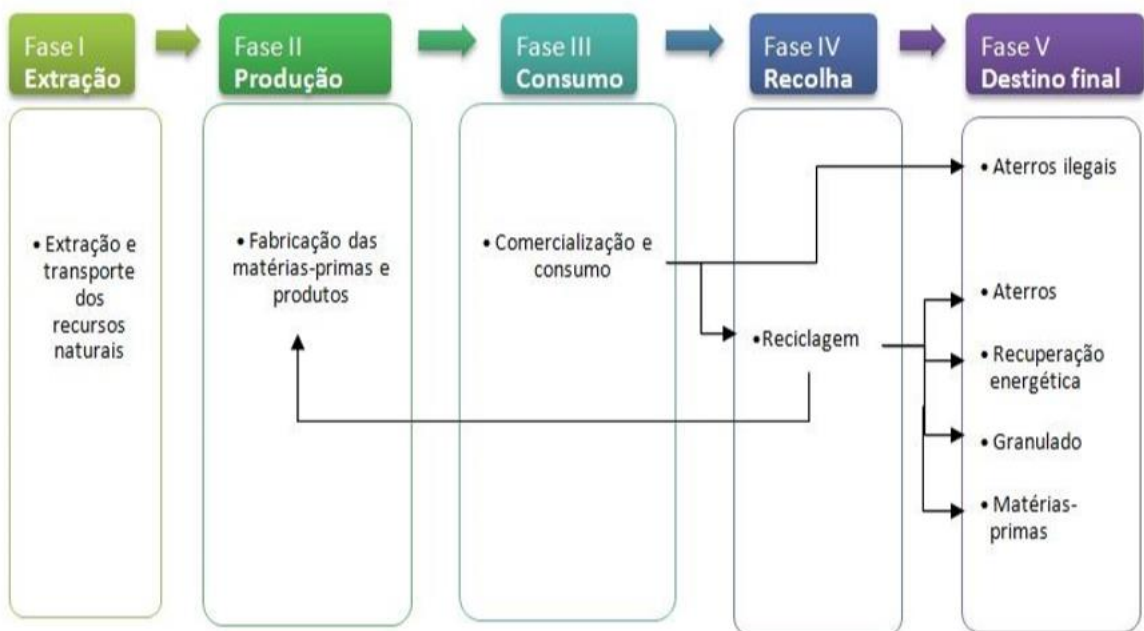


Figura 5-Ciclo de vida de embalagens plásticas. Fonte: Santos, 2014

A ISO 14040 define que, uma ACV é um estudo dos aspectos ambientais e principais impactos causados durante o ciclo de vida de um produto, desde a aquisição da matéria-prima, passando pela produção, uso e destino final, isto é, do berço ao túmulo. Segundo a norma, as principais categorias do impacto ambiental que devem ser abordadas, incluem o uso de recursos, impactos à saúde humana e consequências ecológicas.

A ACV é uma técnica interactiva cujas informações são colectadas e vários aspectos do escopo podem exigir modificações para atender o objectivo inicial (Neves, 2016).

Para o estudo de ACV nos dias de hoje, existem *softwares* que podem auxiliar tais como *SimaPro*, *OpenLCA* e *GaBi*, assim como a base de dados disponíveis como *Ecoinvet*, *KCL Ecodata* e *NREL LCI database*, que tornam a análise mais prática e rápida. Utilizando as ferramentas existentes e tendo conhecimentos sobre o processo produtivo, é possível ter uma visão crítica do que ocorre ao longo do ciclo de vida de um produto (Mansilha *et al.*, 2017).

A análise do ciclo de vida de um produto apresenta inúmeras vantagens, das quais podemos citar a optimização dos produtos do ponto de vista ambiental, aquisição de informações do processo de produção e o melhor entendimento dos aspectos ambientais ligados ao processo produtivo. Além disso, a ACV é útil para a tomada de decisões assim como para a selecção de indicadores ambientais relevantes na avaliação de projectos e processos, servindo como suporte em decisões de fabrico na indústria.

ACV contribui para a diminuição dos resíduos devido à redução do uso de energia e de materiais, sendo também útil como ferramenta de marketing para a obtenção de declarações e rótulos ambientais de produtos “amigos” do meio ambiente. Por esses motivos, os fabricantes têm dado cada vez mais atenção às propriedades ambientais dos seus produtos como um meio de diferenciá-los e aumentar a fatia do mercado das suas empresas (Santos B. C., 2011).

O processo de ACV é composto por quatro componentes a saber:

definição de âmbito, objectivos, análise de inventário, análise de impacto e interpretação dos resultados.

2.4.1. Definição do âmbito e objectivos

A primeira fase desta ferramenta é a fase mais importante para que o estudo em causa tenha sucesso. A definição do objectivo do estudo é um processo que pode parecer fácil mas que na verdade, é um pouco complexo. Nesta etapa, devem ser bem definidas as razões do estudo e o seu público alvo, tendo em conta a aplicabilidade, a viabilidade económica e a aplicação pretendida (Alves, 2014).

Na definição do objectivo, deve-se descrever o produto ou o sistema em estudo assim como devem ser identificadas as fronteiras e limites do estudo ou sistema, as simplificações adoptadas, os modelos matemáticos aplicados assim como qualquer outro desenvolvimento que o responsável ache crucial á elaboração do estudo (Hackenhaar, 2020).

2.4.2. Análise do inventário

Nesta fase, reúnem-se todas as informações que dizem respeito a toda matéria-prima que faz parte do produto ou do sistema, quantificando e identificando todo o tipo de entradas de energia e de água, assim como as descargas feitas para o ambiente através de emissões para o ar, a deposição de resíduos sólidos e as descargas de procedentes líquidos (Alves, 2014).

Aqui também se deve estabelecer os procedimentos de cálculo para que depois se consiga agrupar os dados em categorias ambientais distintas (Hackenhaar, 2020). No inventário do ciclo de vida de um produto, os aspectos ambientais circulam através das fronteiras do sistema ou do produto na forma de correntes de matéria e energia, através de entradas e saídas (Alves, 2014).

Segundo (Mansilha *et al.* (2017), na recolha de dados para a elaboração do inventário do produto ou sistema, é necessário ter-se atenção na identificação de todas as limitações ou se existe uma necessidade de se recolherem outros dados, para que haja o cumprimento total do objectivo da análise do ciclo de vida. Uma outra etapa também importante é a contabilização de todos os diferentes tipos de fluxos energéticos, sejam estes combustíveis ou fontes energéticas em cada uma das etapas do processo de produção do produto ou sistema.

2.4.3. Avaliação dos impactos

Na etapa de avaliação dos impactos, são avaliados os impactos do produto ou do sistema. No caso de o estudo ser de comparação de produtos, será nesta etapa que se deve fazer referência ao produto mais aconselhado em termos ambientais. Também se podem identificar as oportunidades do desempenho do produto ou do sistema em causa. Com as conclusões obtidas nesta fase, pode-se implementar melhorias no produto ou sistema em estudo para que este se transforme num produto ou sistema ambientalmente aperfeiçoado (Alves, 2014).

Existem diversas formas de avaliar os impactos, apesar de estas gerarem grandes debates científicos. A mais simples pode ser feita através dos dados obtidos do inventário mas quando existir uma grande diferença de valores dos vários parâmetros, deve-se utilizar uma metodologia mais específica para o caso em estudo (Hackenhaar, 2020).

2.4.4. Interpretação de resultados

A última etapa da análise de ciclo de vida de um produto ou sistema, é a mais sensível. As hipóteses e as adaptações estabelecidas durante todas as fases anteriores, que ocorreram em função dos ajustes necessários, pode ter influência directa no resultado final do estudo (Alves, 2014).

Aqui apresentam-se todas as verificações que antecedem as fases do estudo tais como a fase da análise do inventário e a avaliação dos impactos. Outra verificação que deve ser efectuada nesta fase, é se o âmbito e objectivo do estudo, definidos na primeira etapa, são cumpridos sem descurar todas as considerações que foram feitas ao longo de todo o estudo (Hackenhaar, 2020).

A interpretação dos resultados, pode vir acompanhada de um relatório final que deve ser elaborado de forma clara para que se possa proporcionar a utilização dos resultados e a sua interpretação de acordo com os objectivos definidos na primeira etapa do estudo. É também importante fazer em simultâneo, uma análise crítica que poderá ser elaborada por terceiros. Esta análise crítica, fará com que não hajam mal-entendidos, por partes externas interessadas no estudo realizado (Alves, 2014).

2.5. Resíduos plásticos e seus impactos ambientais

Como consequência do elevado uso de plástico, são geradas grandes quantidades de resíduos, que por sua vez, nem sempre são reciclados ou reutilizados, sendo então, lançados de forma directa ou indirecta no ambiente, causando uma série de danos. Desse modo, as actividades antropogénicas e industriais são consideradas altamente impactantes, pois são as principais fontes de introdução do plásticos no ambiente (Caixeta *et al.*, 2018).

O plástico como resíduo e como microplástico, já foi identificado em todos os oceanos, em diversas praias continentais e ilhas oceânicas, na superfície e fundo do mar, nas geleiras dos pólos norte e sul, nos sedimentos marinhos, ilhas flutuantes de resíduos e no ar (Pertussatti, 2020).

Quantidades importantes de resíduos plásticos, muitas vezes microscópicos devido a sua degradação incompleta, têm-se acumulado nos aterros e no meio ambiente, causando danos ambientais e problemas relacionados com a gestão desses resíduos. Tais danos, podem ser a libertação de tóxicos para o meio ambiente (plastificantes e outros aditivos), a ingestão de plásticos por organismos, causando muitas vezes a sua morte ou a simples presença de resíduos, impactando visualmente o ambiente (Oliveira, 2012).

Devido a resistência do plástico a radiação, calor, ar e água, este pode permanecer no meio ambiente por longos períodos, conservando suas propriedades físicas e ocasionando danos ao meio ambiente, sendo este um dos principais impactos ambientais causado, aquando de sua deposição inadequadamente (Oliveira & Cunha, 2007). Segundo Wit *et al.* (2019). Na natureza, os plásticos causam os seguintes impactos:

2.6. Enredamento

O enredamento de animais silvestres já foi registado em mais de 270 espécies diferentes, incluindo mamíferos, répteis, aves e peixes. O enredamento em resíduos plásticos, muitas vezes leva a lesões graves e crónicas ou mesmo a morte dos animais afectados. Estima-se que no mínimo, mil tartarugas marinhas morram todos os anos devido ao enredamento em resíduos plásticos (Figura 6), causado pela perda de equipamentos de pesca.



Figura 6-Enredamento de plásticos em Tartarugas. Fonte: <https://www.jd1noticias.com/>

2.6.1. Ingestão

Plástico ingerido é prejudicial á saúde dos animais. Registos documentaram mais de 240 espécies diferentes de animais com plástico ingerido (Figura 7). Com frequência, esses animais não conseguem mover o plástico pelo seu sistema digestivo, resultando em abrasões internas, obstruções do aparelho digestivo e morte. Além disso, mostrou-se que as toxinas do plástico ingerido, também prejudicam a reprodução e afectam o sistema imunológico.



Figura 7-Ingestão de plásticos por Peixes. Fonte: <https://www.istockphoto.com/>

2.6.2. Degradação do habitat

Resíduos plásticos foram encontrados em solos, rios e oceanos, onde estão a causar a degradação ou destruição de habitats naturais (Figura 8). Mostrou-se que a poluição por microplásticos, altera as condições do solo, o que pode impactar a saúde da fauna e aumentar a probabilidade de vazamentos de substâncias químicas nocivas no solo. Os resíduos plásticos também aceleram a degradação dos corais. Equipamentos de pesca abandonados, perdidos ou descartados, podem sufocar recifes frágeis e as colónias microbianas que se formam nos resíduos plásticos, facto que pode resultar em maiores índices de doenças nos corais.



Figura 8-Degradação de habitat marinho. <https://expressodasilhas.cv/>

2.7. Gestão dos resíduos plásticos

Segundo Santos (2014), a procura de soluções adequadas para o destino final dos resíduos de embalagens de plástico, constitui um desafio para os sistemas integrados de gestão de resíduos. As práticas de gestão devem ser baseadas na valorização dos resíduos, através de tecnologias de tratamento eficazes e economicamente viáveis.

A maioria dos artigos plásticos vendidos, especialmente as embalagens e outros bens não duráveis, tornam-se resíduos em menos de um ano, ou, no pior cenário, após um único uso. Ainda assim, os resíduos plásticos são valorosas fontes de matérias-primas e podem ser transformados em energia ou em outros materiais poliméricos (Casagrande, 2018).

Apesar dos resíduos plásticos serem classificados como não perigosos, quando descartados inadequadamente, como em rios, encostas, lixeiras, etc., os plásticos causam diversos danos ambientais. A maioria dos plásticos não são biodegradáveis, muito pelo contrário, são materiais extremamente duráveis pois boa parte dos plásticos produzidos e descartados hoje, irá persistir no ambiente por muitos anos (Fortuna, 2020).

Uma gestão adequada de resíduos plásticos, deve obedecer a seguinte hierarquia: **redução, reutilização, reciclagem, incineração e deposição em aterros**. A **redução** pode ser entendida como a redução do uso/consumo de produtos plásticos pelo consumidor ou redução na quantidade de resina plástica utilizada na indústria para o fabrico de seus produtos (Russo, 2003).

A **reutilização** de materiais plásticos é uma prática facilitada que decorre da durabilidade e resistência das resinas, dependendo, portanto, do tipo de polímero. A **reutilização** de plásticos pode ser feita de diversas maneiras e para os mais diversos fins. Após diversos ciclos de uso, os materiais plásticos começam a degradar-se e já não são úteis, devendo ser reprocessados. Chega-se então à terceira opção na pirâmide de hierarquia da gestão de resíduos, a reciclagem. A reciclagem é o processo de transformação dos materiais descartados em outros bens ou insumos (Carijó, 2016).

No que respeita ao reaproveitamento dos polímeros, apenas os termoplásticos são recicláveis, uma vez que a sua estrutura permite após fusão, manter as mesmas propriedades, o que significa que durante a fusão destes polímeros, não ocorre nenhuma

reação química, ou seja, não sofrem alterações irreversíveis (Santos, 2014). Com o crescimento das exigências ambientais, a reciclagem também tem sido apontada de forma crescente como opção de destino, sendo cada vez mais utilizada no pós-consumo assim como a incineração. O aterro representa a última alternativa desejável (Oliveira, 2012).

Segundo Rodrigues (2018) a reciclagem de polímeros pode ser classificada em quatro categorias:

- **Reciclagem primária:** consiste na conversão dos resíduos poliméricos industriais por métodos de processamento padrão em produtos com características equivalentes à aquelas dos produtos originais, produzidos com polímeros virgens, como por exemplo, Áparas que são novamente introduzidas no processamento (polímero pós-industrial).
- **Reciclagem secundária:** conversão dos resíduos poliméricos provenientes dos resíduos sólidos urbanos (pós-consumo), por um processo ou uma combinação de processos em produtos que tenham menor exigência do que o produto obtido com polímero virgem, como por exemplo, reciclagem de embalagens de PP para obtenção de sacos de lixo.
- **Reciclagem terciária ou reciclagem química:** processo tecnológico de produção de insumos químicos ou combustíveis, a partir de resíduos poliméricos.
- **Reciclagem quaternária ou reciclagem energética:** processo tecnológico de recuperação de energia de resíduos poliméricos por incineração controlada.

O aumento na geração de resíduos no mundo, exige estratégias de gestão que integrem opções ambientalmente sustentáveis (LAURENT, 2014). Existe uma demanda pela escolha de tecnologias adequadas que visem a melhoria do meio ambiente e da saúde humana, promovendo o reuso e a reciclagem assim como programas de prevenção de geração de resíduos e de responsabilidade compartilhada, entre produtores e consumidores.

Além disso, outros desafios incluem a redução dos impactos de longo prazo, relacionados com a gestão de resíduos tais como o uso de energia e mudanças climáticas, devem ser solucionados, focando-se na redução da emissão de gases de efeito estufa e na recuperação energética de resíduos (PIRES, MARTINHO e CHANG, 2011).

Os resíduos plásticos são um motivo de preocupação, principalmente quando o descarte é feito de forma incorrecta e são dispersos no meio ambiente. Com cada vez menos espaços nos aterros, escassez de espaço para a criação de novos e custos cada vez mais elevados, novas técnicas tem surgido para a deposição e tratamento de resíduos plásticos (MAGRINI et al., 2012).

A redução do uso de recursos, resulta na menor geração de resíduos e pode ser entendida tanto como a redução no consumo de produtos plásticos pelo consumidor assim como por uma redução na quantidade de resinas plásticas, demandadas pela indústria para o fabrico de produtos.

2.8. Quadro legal moçambicano sobre a gestão de resíduos plásticos

Apesar do problema de poluição plástica continuar preocupante em Moçambique, o país possui importantes instrumentos legais cujo cumprimento, resolveria o problema da poluição plástica. Porém, apesar dos ricos, instrumentos legais, a falta de recursos financeiros, humanos, materiais e uma educação ambiental adequada, constituem um dos grandes constrangimentos para os sistemas de gestão local dos resíduos sólidos. Dos instrumentos legais que concorrem para a gestão de resíduos sólidos, no geral, e plásticos, em particular, destacam-se os seguintes:

- *Constituição da República de 2018* - estabelece no artigo 90 que todo o cidadão tem o direito de viver num ambiente equilibrado e o dever de o defender.
- *Resolução 5/95 de 3 de Agosto, Política Nacional de Ambiente* - constitui um reconhecimento legal da interdependência entre o desenvolvimento e o ambiente. Para efeitos desta política de desenvolvimento é importante o seu capítulo 3.7., que se refere à “gestão do ambiente urbano”.
- *Lei 20/97, de 1 de Outubro, Lei do Ambiente* - estabelece as balizas fundamentais para a gestão sustentável do ambiente e as suas componentes. Como a gestão de resíduos não se rege de forma autónoma, busca na LA, os seus comandos legais ou melhor, o seu fundamento.
- *Decreto n.º 8/2003, de 18 de Fevereiro de 2003, Regulamento sobre a Gestão de Lixos Biomédicos.*
- *Decreto n.º 94 /2014, de 31 de Dezembro de 2006, Regulamento sobre a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos* - estabelece as regras de gestão dos resíduos sólidos urbanos no território de Moçambique e é aplicável a todas as pessoas singulares e colectivas, públicas e privadas que estejam envolvidas na produção e gestão de resíduos sólidos urbanos ou de resíduos industriais e hospitalares, equiparados aos urbanos.
- *Decreto n.º 83/2014, de 31 de Dezembro, Regulamento sobre a Gestão de Resíduos Perigosos* - estabelece as regras para a produção e gestão dos resíduos perigosos no território de Moçambique e é aplicável a todas as pessoas singulares e colectivas, públicas e privadas envolvidas na gestão de resíduos perigosos e na importação, distribuição e comercialização de pneus usados e novos fora do prazo.

- *Decreto n.º 16/2015, de 5 de Agosto, Regulamento sobre a Gestão e Controlo do Saco Plástico* - estabelece normas e procedimentos referentes à gestão e controlo do saco plástico, no que respeita a sua produção, importação, comercialização e uso, com vista a reduzir os impactos negativos na saúde humana e no ambiente em geral.
- *Decreto 45/2006 de 30 de Novembro - Regulamento para a Prevenção da Poluição e Protecção de Ambientes Costeiros e Marinhos* que tem por objectivo prevenir e limitar a poluição proveniente das descargas ilegais efectuadas por navios, plataformas ou fontes baseadas em terra, ao largo da costa moçambicana bem como o estabelecimento de bases legais para protecção e conservação das áreas que constituem domínio público marítimo, lacustre e fluvial, das praias e dos ecossistemas frágeis.
- *Decreto 79/2017 de 28 de Dezembro – Regulamento sobre a Responsabilidade Alargada dos Produtores e Importadores de Embalagens.*

2.9. Medidas universais a serem tomadas para melhoria ambiental no ciclo de vida de embalagens e recipientes plásticos.

No caso dos oceanos, dado que os resíduos são de origem terrestre, nomeadamente das residências e do comércio, os quais são transportados para os mares e oceanos, a Plastic Packaging and the Environment, propõe o seguinte conjunto universal de medidas:

- Se coloque os resíduos em contentores e nunca na rua, rio ou no pavimento;
- Se recolha o lixo que se encontra nas proximidades dos contentores, colocando-os no seu interior;
- Não se deposite os resíduos fora dos contentores que se encontram cheios, optando por colocá-los noutra recipiente disponível ou levando-os para casa;
- Se colabore com associações ou entidades em actividades de voluntariado para a limpeza de praias, ruas e outras áreas.

Adoptar sistemas de “recolha-depósito-devolução” que, contribui para prevenir o aparecimento de resíduos no meio ambiente.

A colocação de mais contentores nas ruas e avenidas, pode contribuir para reduzir a quantidade de resíduos no meio ambiente. Uma maior disponibilidade de contentores diferenciados para a recolha selectiva de resíduos pode contribuir para reduzir o comportamento negligente das pessoas, associado ao abandono indiscriminado de resíduos, em locais inapropriados como ruas e lixeiras, os quais tendem a ser transportados para o ecossistema aquático.

2.10. Descrição do funcionamento do software Open LCA

OpenLCA é um programa profissional aberto, desenvolvido pela GreenDelta e destinado para avaliar o ciclo de vida (ACV) de materiais. O programa tem diversas aplicações como por exemplo, avaliar o Custo do Ciclo de Vida (CCV), Ciclo de Vida Social (ACVS), pegadas de carbono e da água assim como a Declaração Ambiental do Produto (DAP). Para além das bases de dados e métodos de avaliação de impacto disponíveis, o programa permite ainda ao utilizador, criar a sua própria base de dados e que a mesma pode ser partilhada (Coelho, 2019). O programa está disponível gratuitamente e sem quaisquer custos de licença, sendo que qualquer utilizador pode ver e alterar o código fonte (Rezende, 2018).

O OpenLCA é um projecto com mais de 7 anos de existência. É um programa actual grátis, “*open source*”, com potencial que permite realizar avaliações de vida e de sustentabilidade.

Além de ser um programa “leve” que efectua os cálculos com bastante rapidez, encontra-se num processo de melhoria constante, permitindo que os erros sejam rapidamente corrigidos e o código melhorado.

O programa apresenta ainda algumas vantagens em relação a algumas das alternativas mais conhecidas como o Gabi e Umberto, pois permite o cálculo com utilização de processos unitários em grandes bases de dados. Outra das funcionalidades que viabiliza a utilização deste programa é a importação de bases de dados dentro de bases de dados existentes, o que permite o cruzamento de dados complementares, sendo assim possível trabalhar numa superbase de dados facilmente manipulada pelo utilizador .

Pelo facto deste programa ser “*open source*”, permite existir uma comunidade online, onde é possível trocar informações e pedir ajuda para resolver e desenvolver o problema em questão, facto que o torna interactivo/comunicativo.

CAPÍTULO III

3. PROCEDIMENTOS E MÉTODOS

Após a descrição teórica e colheita de dados junto a Topack, seguiu a descrição do limite de fronteira no qual o trabalho se limitou.

O trabalho versou em torno da aplicação do Software OpenLca para analisar o ciclo de vida de sacos plásticos de Polietileno de baixa densidade (PE-BD) e garrafas de Polietileno de alta densidade (PE-AD) na empresa supracitada.

A matéria prima provém da Sasol, na África do Sul via navios até ao Porto de Maputo e depois é transportada por camiões até..

a fábrica Topack para ser processada e transportada até aos consumidores, usando veículos pesados. A posterior é tratado/ reciclado, via incineração (aproveitamento energético) ou depositado em aterros.

O fluxograma da Figura 9 apresenta as fronteiras adoptadas para o presente estudo.

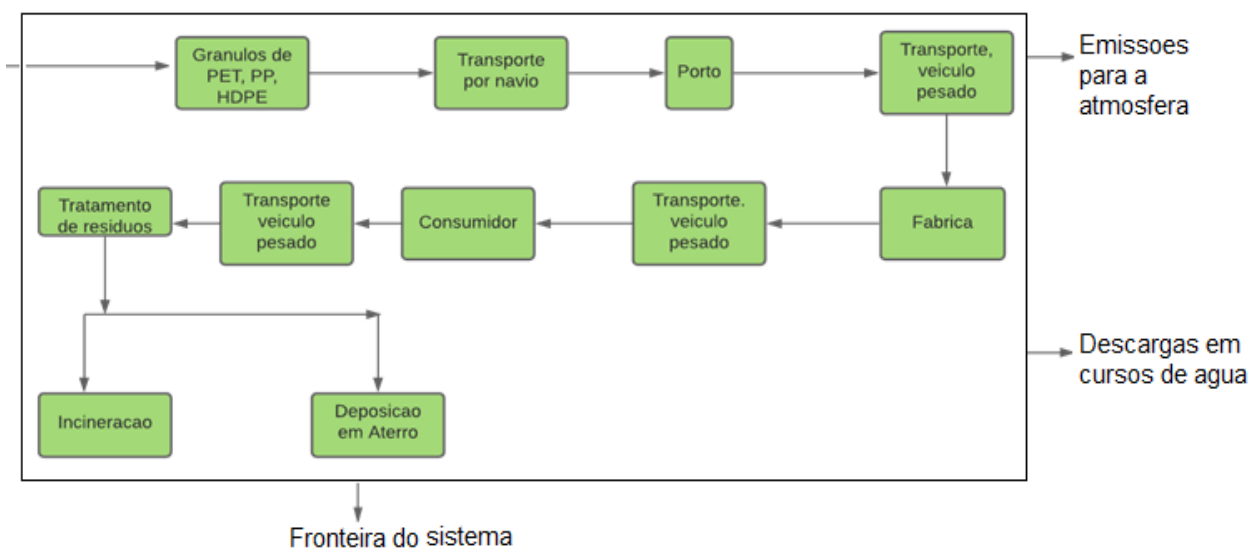


Figura 9-Fluxograma que representa de forma esquemática as fronteiras do estudo da Avaliação do Ciclo de Vida dos sacos plásticos de Polietileno de Baixa Densidade e das garrafas de Polietileno de Alta Densidade

CAPÍTULO IV

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

São estes os resultados que devem ser apresentados e discutidos, baseando-se naquilo que fizeste e o que dizem os vários autores referenciados ao longo do texto sobre cada resultado apresentado para depois chegares as suas conclusões finais, isto é, tomares o seu posicionamento.

Dado o facto de este ser um estudo de caso e dada a peculiaridade da região em estudo, etapas de extracção da matéria-prima (tipicamente de combustíveis fósseis tais como o gás natural ou o petróleo) e o subsequente processamento para a obtenção dos grânulos dos polímeros supracitados, não foram considerados. Os dados constantes na Tabela 1, foram usados para suportar a análise. Estes foram indirectamente adquiridos junto da empresa Topack por ser considerada uma das empresas com grande expressão neste segmento, à nível da Cidade de Maputo.

Sendo a análise do ciclo de vida, uma ferramenta que permite quantificar os impactos de diferentes processos e, por essa via, facilitar comparações e tomada de decisão, indicadores concretos devem ser definidos. Entre vários outros indicadores que o *software* permite quantificar, foram os seguintes impactos ambientais:

Procedimentos adoptados de simulação

As Figuras 10 e 11, apresentam as interfaces do *software*, nas quais se podem visualizar, o processo de introdução dos fluxos de entrada e de saída, para os processos modelados de produção dos sacos plásticos e de garrafas de PE-AD, respectivamente.

Inputs									
Flow	Category	Amount	Unit	Provider	Data q...	Desc...			
F _g electricity from hyd...	Energy carriers and technologie...	E	MJ	P Electricity fro...					
F _g landfill of plastic wa...	End-of-life treatment/Landfilling	(1-fr)*M	kg	P Landfill of plas...					
F _g polyethylene low de...	Materials production/Plastics	M*(1-f)	kg	P Polyethylene l...					
F _g Recycling goods	Production residues in life cycle...	fr *M	kg	P Dummy_Recy...					
F _g Sea Shipping via Bul...	Utilities/Freight via Sea & River	T1	kg...	P Sea Shipping v...					
F _g transport in t*km	Transport services/Other transport	T2	kg...	P Lorry transpor...					
F _g waste incineration o...	End-of-life treatment/Energy re...	f*M	kg	P Waste incinera...					

Outputs									
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/...	Uncert...	Avoid...	Provider	Data q...	Des
F _g Bolsas		M	kg		none				

Figura 10-Fluxos de entrada para simular o processo de produção de 1000 kg de sacos plásticos

Flow	Category	Amount	Unit	Provider	Data				
F _g polyethylene high density gr...	Materials production/...	MPE+MPE_T	kg	P Polyethylene hi...					
F _g electricity from hydroelectri...	Energy carriers and te...	E	MJ	P Electricity from ...					
F _g Sea Shipping via Container -...	Utilities/Freight via Se...	D1 *(MPE + ...	t*km	P Sea Shipping vi...					
F _g Road Use via 13-20t Rigid Tr...	Utilities/Freight via R...	D2	m	P Road Use via 13...					
F _g landfill of plastic waste	End-of-life treatment...	(1-fr)*(MPE+...	kg	P Landfill of plast...					
F _g waste incineration of plastic...	End-of-life treatment...	f*(MPE+MPE...	kg	P Waste incinerat...					
F _g Recycling goods	Production residues i...	fr*(MPE+MP...	kg						

Outputs						
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Rev...	Uncertainty	
F _g PET Bottle		1.00000	Item(s)		none	

Figura 11-Fluxos de entrada para simular o processo de produção de 1000 unidades de garrafas de Polietileno de Alta Densidade

Conforme se pode visualizar, os valores foram introduzidos de forma parametrizada por meio de variáveis que representaram as quantidades no campo, sendo que os respectivos significados, podem ser visualizados no trabalho.

Input parameters			
Name	Value	Uncertainty	Description
E	16426.89	none	[MJ] Quantidade de electricidade tipica necessaria condicente a massa M
D1	11500.0	none	[km] distancia percorrida fora do pais - (de katar a Mocambique nesse caso)
M	1000.0	none	[kg] massa a ser analisa
D2	17.2	none	[km] distancia percorrida dentro do pais - Mozambique
fr	0.3	none	fraccao de reciclo
f	0.0	none	fraccao incinerada

Dependent parameters			
Name	Formula	Value	Description
T2	D2 *M	17200.0	km*kg (camiao)
T1	D1*M	1.15E7	km*kg (ship travelling)

Modelo de avaliação do ciclo de vida da produção de sacos plásticos

Embora houvesse alguma limitação no conjunto de informações, providas para a região em estudo, algumas das informações fulcrais, foram conseguidas de forma indirecta, via pesquisas em certos artigos e manuais, por valores típicos daqueles em falta. Tais valores, figuram na Tabela 2

Tabela 1-Algumas informações úteis para a simulação

Item	Valor	Fonte
Peso de 1000 sacos de polietileno de baixa densidade	7.14 kg	(Barbosa <i>et al.</i> , 2016)
Item	Valor	Fonte
Peso de 1000 garrafas de polietileno de alta densidade	64 kg	(LCA, 2019)
Quantidade de electricidade tipicamente consumida a cada 1000 sacos produzidos	32.58 kWh (117.288 MJ) (0.932 kWh/kg)	(Edwards & Fry, 2011)
Quantidade de electricidade tipicamente consumida a cada	10.4 MJ / garrafa PET	(Edwards & Fry, 2011)

A versatilidade do programa usado é tamanha que este consegue manipular várias unidades conectadas, como mostrado anteriormente, criando parâmetros com os quais se pode quantificar cada fluxo, característica muito útil quando analisamos a sensibilidade de todo o processo.

A ilustração-modelo, do processo simulado de produção de bolsas plásticas e das garrafas de PE-AD, verificável no programa, é tal como apresentado nas Figuras 13 e 14, respectivamente, para os dois polímeros.

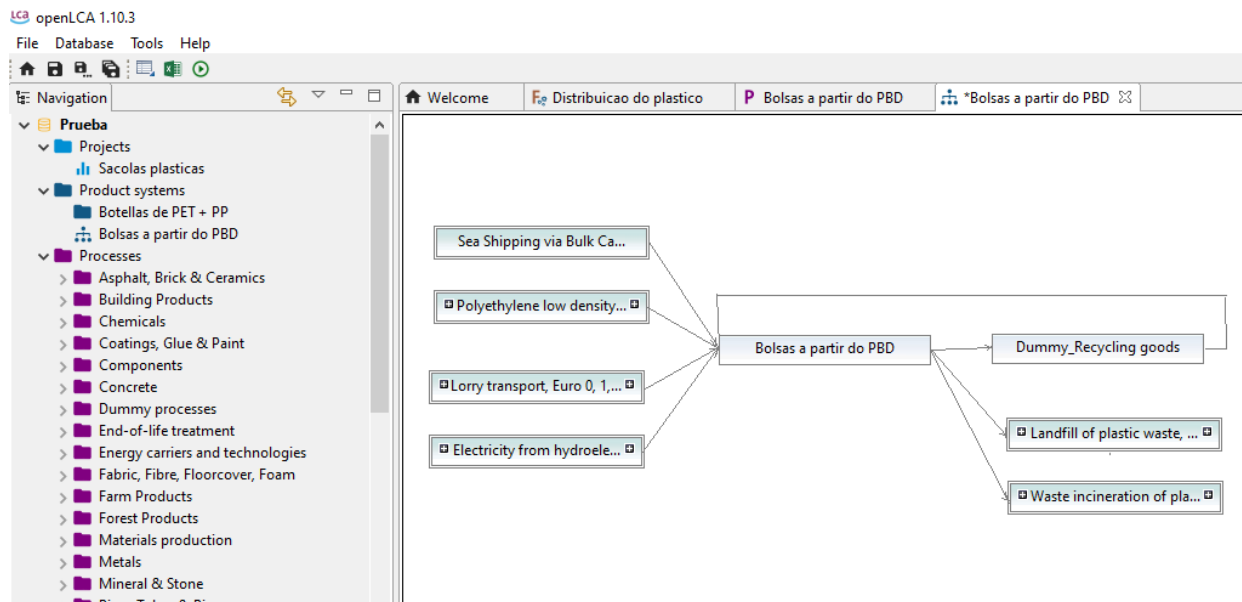


Figura 12-Modelo para a ACV da produção de sacos plásticos

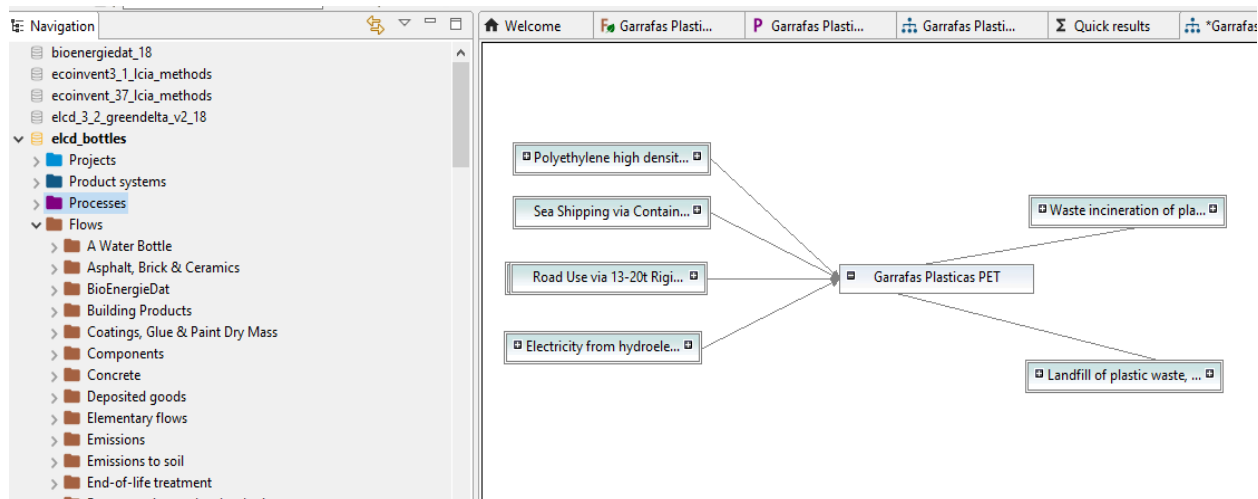


Figura 13-Modelo para a ACV da produção de garrafas de PE-AD

As categorias de impactos já apresentados, inicialmente a serem analisados para as condições actuais e, segundo os modelos acima apresentados, beneficiou de várias análises de sensibilidade e incerteza nesse trabalho, visando estudar a robustez e o grau de sensibilidade às variações de alguns parâmetros de entrada nos resultados na análise do ciclo de vida (comparação de diferentes cenários possíveis) , durante a fase de produção assim como nas fases de pré e pós-produção dos mesmos.

Para tal, alguns parâmetros de entrada, foram variando do seu valor original na direcção considerada, não ambientalmente favorável. Essa abordagem, mostra-se particularmente muito importante ao se proceder a optimização do processo de produção e a sua relação com os impactos ambientais, em termos de emissões acompanhadas com as operações e processos unitários, da produção dos materiais poliméricos.

Tabela 2-Resultados da simulação para os sacos plásticos

Name	Impact result	Unit
> Acidification	90.86754	kg SO2 eq
> Photochemical oxidation	4.02073	kg C2H4 eq
> Fresh water aquatic ecotox.	1.42542	kg 1,4-DB eq
> Ozone layer depletion (ODP)	2.96718E-6	kg CFC-11 eq
> Abiotic depletion	0.00249	kg Sb eq
> Terrestrial ecotoxicity	11.69574	kg 1,4-DB eq
> Abiotic depletion (fossil fuels)	2.93884E5	MJ
> Global warming (GWP100a)	1.85639E4	kg CO2 eq
> Marine aquatic ecotoxicity	1.72099E5	kg 1,4-DB eq
> Eutrophication	23.75230	kg PO4--- eq
> Human toxicity	137.17173	kg 1,4-DB eq

Tabela 3-Resultados da simulação para as garrafas de PE-AD

Name	Impact result	Unit
> Acidification	5.34562E4	kg SO2 eq
> Photochemical oxidation	8432.85568	kg C2H4 eq
> Fresh water aquatic ecotox.	1.52126E4	kg 1,4-DB eq
> Ozone layer depletion (ODP)	0.23520	kg CFC-11 eq
> Abiotic depletion	440.81503	kg Sb eq
> Terrestrial ecotoxicity	1.97532E4	kg 1,4-DB eq
> Abiotic depletion (fossil fuels)	7.84978E4	MJ
> Global warming (GWP100a)	1.94327E7	kg CO2 eq
> Marine aquatic ecotoxicity	4.61137E9	kg 1,4-DB eq
> Eutrophication	3842.60230	kg PO4--- eq
> Human toxicity	6.80259E5	kg 1,4-DB eq

Conduzida como foi, é evidente que, em termos mássicos, os resultados referentes às garrafas de PE-AD, possuem uma menor massa do que aquelas referentes aos sacos plásticos. E nesse ponto de vista, verifica-se que, o processamento que culmina com a obtenção das garrafas PETs, é responsável por um maior impacto do que as referentes aos sacos plásticos, para as categorias de potencial de oxidação fotoquímica, depleção abiótica, toxicidade terrestre, aquecimento global, ecotoxicidade marinha e aquática, a eutrofização e a toxidade humana.

Considerando uma taxa de reciclo de 30%, a situação aqui simulada, a ecotoxicidade marinha é a categoria com o impacto ambiental de maior relevância, seguida do potencial para aquecimento global, comparado as restantes categorias no processo de produção de PE-AD (Tabela 4).

E como esperado, para a natureza das etapas envolvidas no processo de produção das garrafas plásticas, a emissão dos CFC é a categoria de impactos com menor intensidade.

Análise de sensibilidade

Visando verificar a resposta à variação de certos parâmetros que regem o processo descrito no capítulo anterior, uma análise de sensibilidade foi efectuada tendo-se focada em 4 pontos julgados chaves:

- i. a quantidade global processada;
- ii. a fracção pós-uso incinerada;
- iii. a fracção pós-uso reciclada; e
- iv. a proveniência da matéria-prima.

Os resultados para os tais itens são apresentados a seguir.

Efeito da variação da quantidade processada, nos indicadores dos impactos.

O efeito da quantidade global da matéria-prima, proveniente de Qatar, processada para a obtenção dos sacos plásticos e garrafas de PE-AD, foi estudado para 5 valores arbitrários e os resultados são apresentados nas Figuras 14 e 15, respectivamente. Porque quantitativamente, não é de se esperar a obtenção de valores iguais nem próximos nas diferentes categorias, a metodologia adoptada, consistiu em fixar em 100%, o maior valor para cada categoria de impacto e as contribuições das outras variações inferiores, foram consideradas fracções do valor máximo fixado.

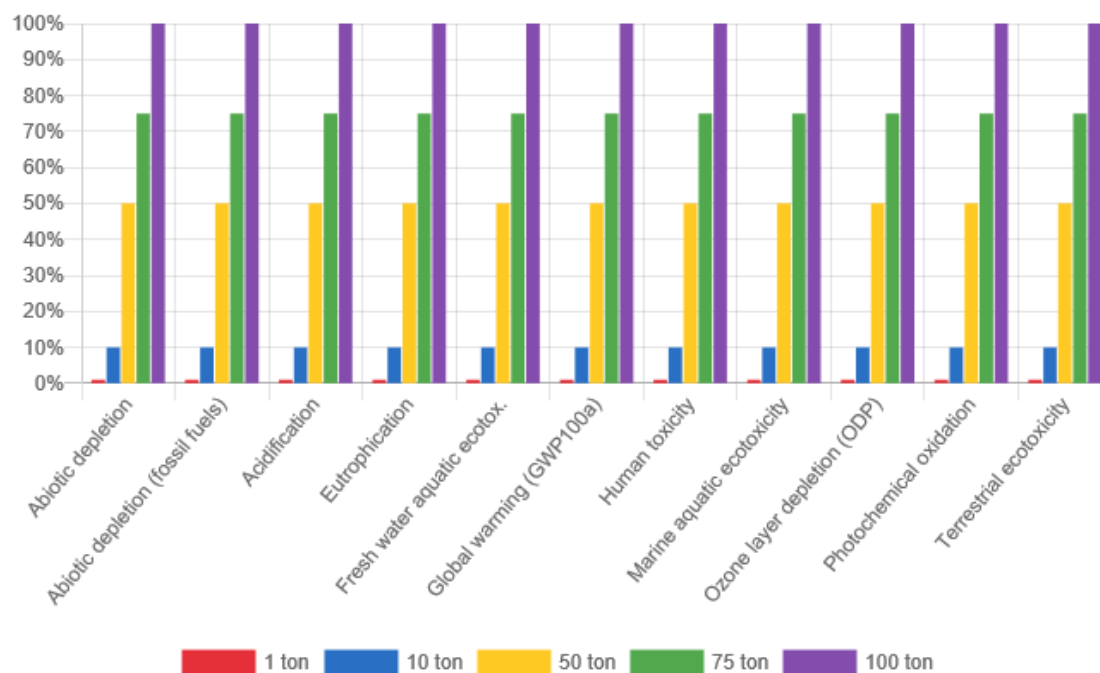


Gráfico 1-Efeito da quantidade processada - Sacolas Plásticas

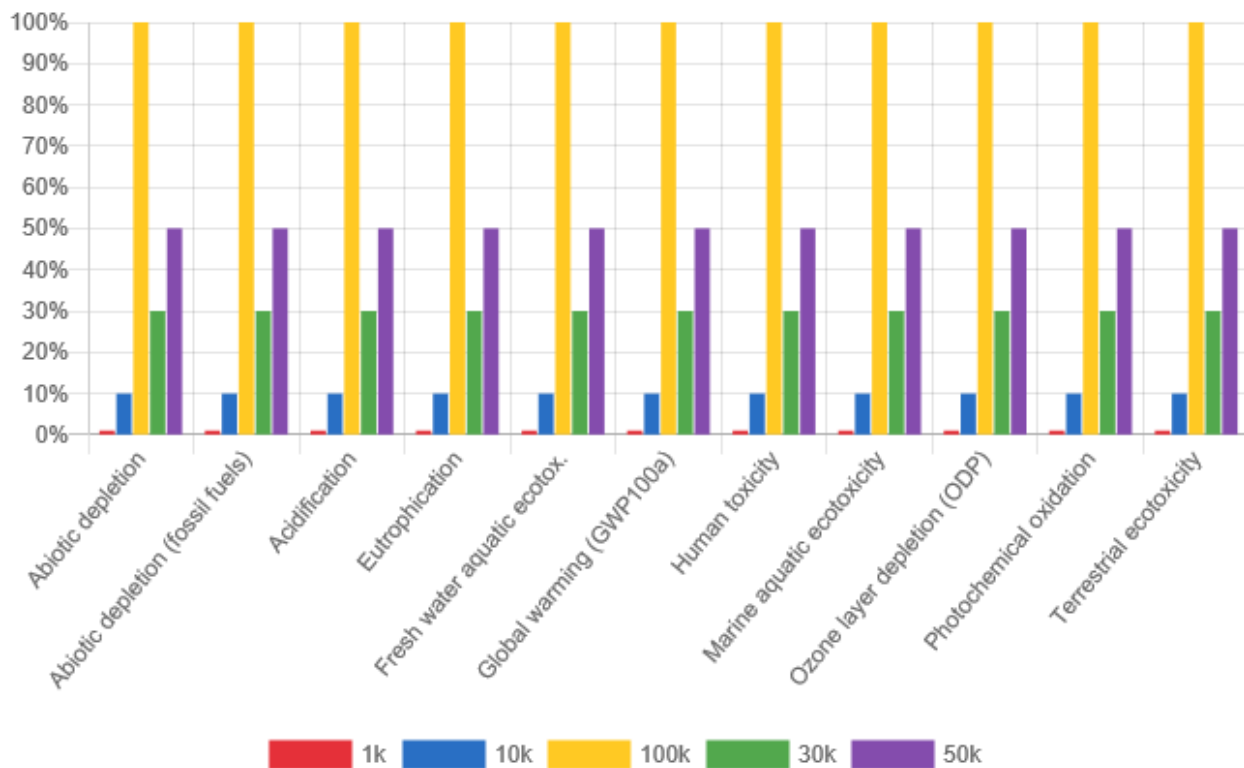


Gráfico 2-Efeito da quantidade processada - Garrafas Plásticas

Verificou-se que, para todas as categorias de impacto considerados para os dois polímeros, o efeito da quantidade processada é exactamente o mesmo pois demonstram uma relação de proporcionalidade directa com a produção. Por analogia, é um resultado de se esperar já que para produzir maiores quantidades de sacos e garrafas plásticas, mais grânulos de Polietileno virgens ou reciclados, são requeridos e, dessa forma, mais combustível é queimado, durante o processo de transporte dos grânulos, até junto a fábrica e, conseqüentemente, mais emissões se verificam no processo de fabrico de um volume relativamente maior.

Efeito da variação da fracção de incineração nos indicadores dos impactos

Uma das alternativas considerada na actualidade, para lidar com os resíduos plásticos, é a incineração. O efeito desta medida, em variações hipotéticas das suas fracções, foi simulado nesse estudo e apresentado nas Figuras 16 e 17, respectivamente.

A combustão de resíduos plásticos é acompanhada pela emissão de gases potencialmente perigosos, que escapam para a atmosfera, comprometendo assim os ecossistemas e, quantitativamente, alteram para o pior os valores das categorias dos impactos analisados.

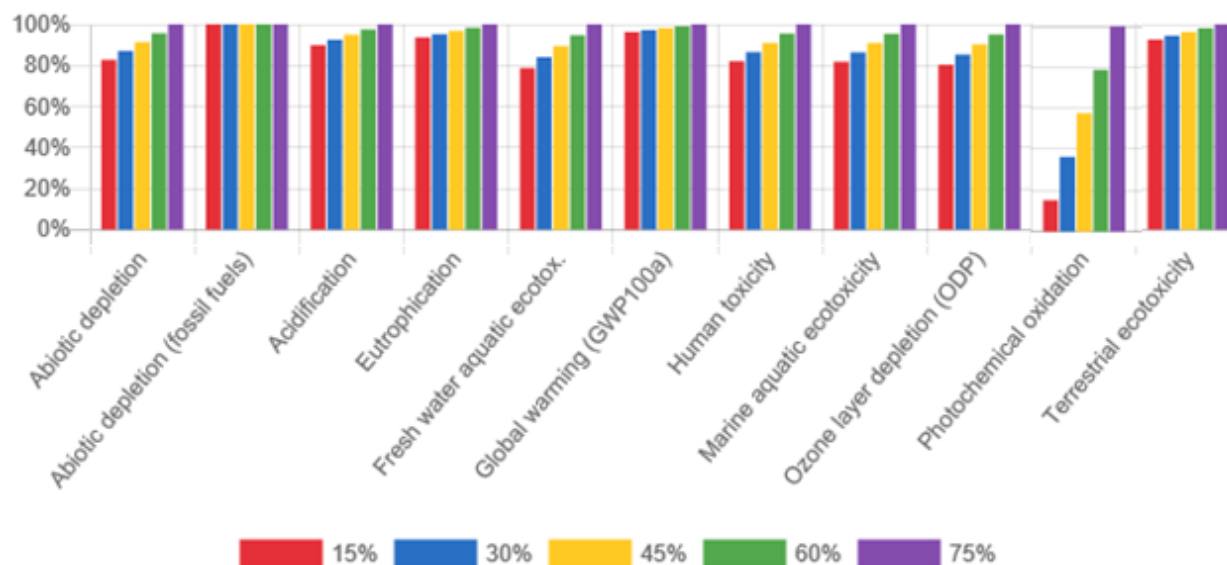


Gráfico 3-Efeito da fracção de incineração - Sacolas Plásticas

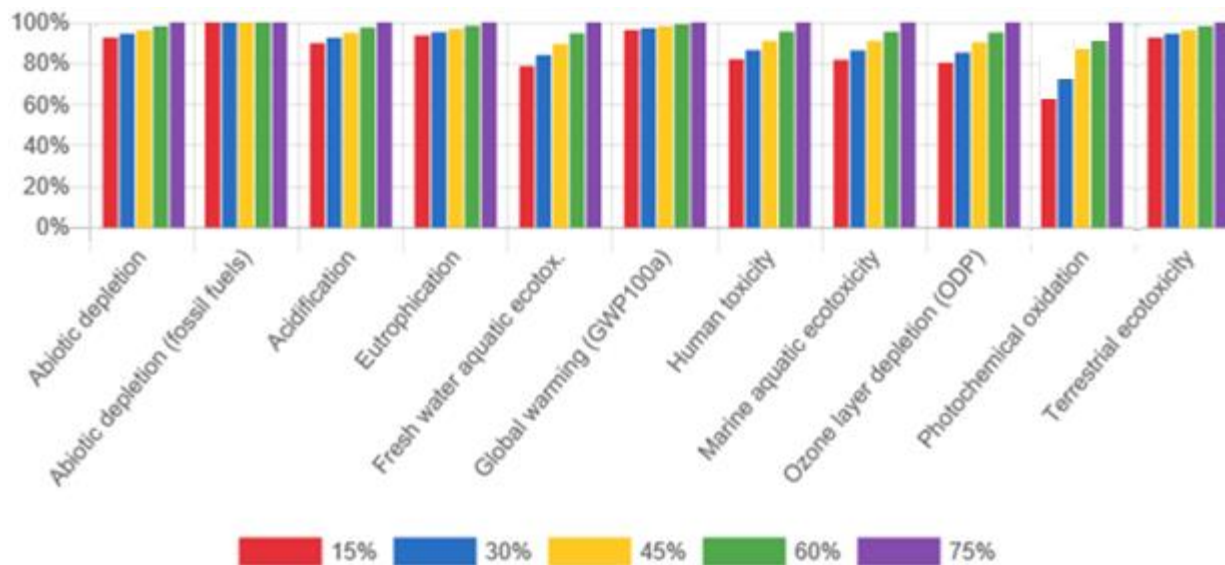


Gráfico 4-Efeito da fracção de incineração - Garrafas Plásticas

Por conta disso, a incineração de materiais plásticos, foi sempre vista como o último processo a ser considerado, nas alternativas de 'deposição final' dos materiais plásticos. Não se tem considerado como viável, a incineração de materiais plásticos, principalmente porque o processo emite elevadas quantidades de dioxinas, furanos e compostos policlorinados. Neste contexto, justifica-se o facto de se verificar um aumento proporcional a taxa de incineração, na intensidade dos impactos ambientais, na maioria das categorias consideradas para discussão e, assim, firma-se mais uma vez que, a incineração não é uma medida ambientalmente viável, para ser usada no fim do ciclo de vida dos plásticos, se medidas conducentes as reduções das emissões, não forem tomadas.

Querendo usar esta técnica como um meio de deposição final e, dependendo da particularidade de cada polímero, um estudo aprofundado deve ser feito, visando se encontrar uma taxa de incineração óptima, isto é, que seja condicente com a emissão não ambientalmente tóxica ao mesmo tempo que minimiza o problema de manuseamento dos sacos e garrafas plásticas.

Efeito da variação da fracção de reciclo nos indicadores dos impactos

O reciclo é outra alternativa, que visa dar um destino, aos resíduos plásticos. Neste trabalho, a fracção de reciclo foi analisada, visando verificar a sensibilidade das categorias de impacto à essa variável. Os resultados do estudo são graficamente apresentados nas Figuras 18 e 19, respectivamente, para os dois polímeros

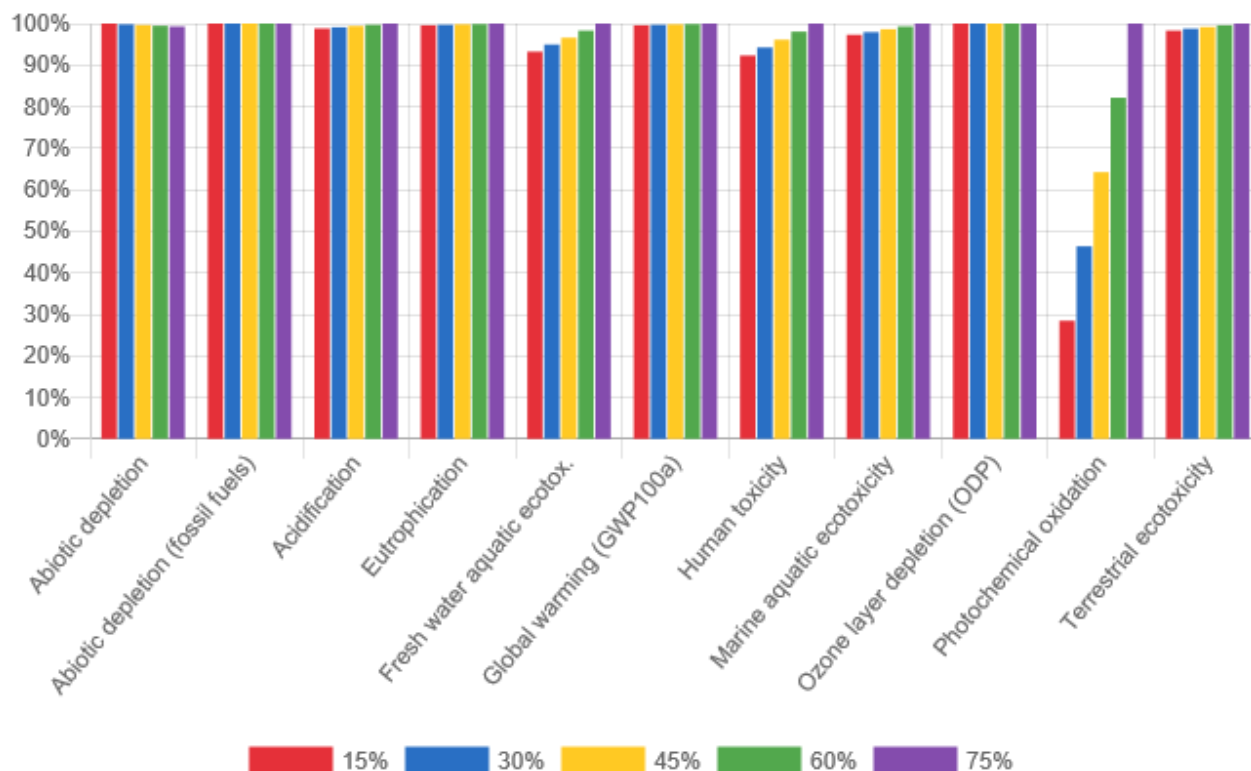


Gráfico 5-Efeito da fracção de reciclo - Sacolas plásticas

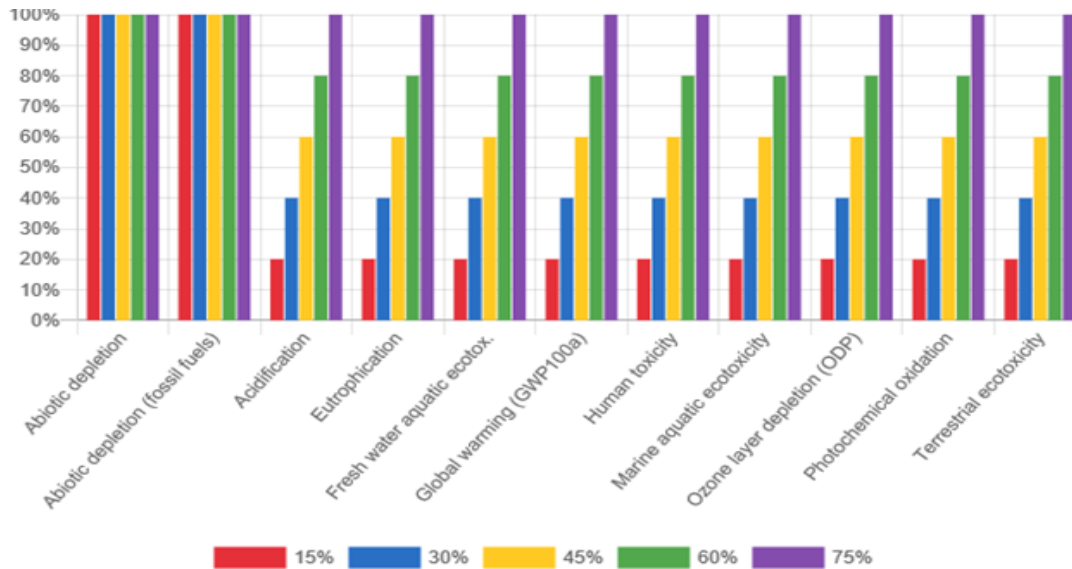


Gráfico 6-Efeito da fracção de reciclo - Garrafas plásticas

Aumentar a taxa de reciclo significa incrementar a quantidade de unidades plásticas usadas que seguem de volta para o processo de moldagem e extrusão. Tipicamente, o reciclo tem-se mostrado mais intensivo, tratando-se de consumo de energia do que aquele envolvendo a matéria-prima bruta (em forma de grânulos), já que o reciclado deve passar por um novo conjunto de etapas unitárias, cada uma como consumidora de energia. Dentre elas fazem parte a lavagem, trituração para depois beneficiar-se da produção do plástico.

Neste processo, a matéria orgânica e outros contaminantes, juntos dos materiais plásticos, são arrastados pela água de lavagem e depois depositados no meio ambiente, aumentando assim as taxas de ecotoxicidade humana e das águas.

Os resultados da simulação, apresentados para os dois polímeros em estudo, mostram que a depleção abiótica em particular, não é afectada, situação contrária à aquilo que era de se esperar. Constatou-se que pode ser explicada pelo facto de, para as quantidades ensaiadas neste trabalho para os dois polímeros, 1000 kg do PE-BD e 64 kg, correspondente a 1000 garrafas plásticas, para o caso do PE-AD, o consumo de fontes fósseis não significativas, quando comparadas ao consumo de fontes fósseis para efeitos de transporte da matéria-prima (os grânulos), até a planta de processamento.

E porque se vai sempre importar tal matéria-primas, ainda que em pequenas quantidades e, portanto, percorrer as mesmas distâncias, estar-se-ia ainda assim a consumir os combustíveis fósseis, numa intensidade não muito díspar e, assim, não será de se esperar que, o valor do impacto, mude com alguma significância. É razão para dizer que, para o escopo e o inventário definido para este estudo, a quantidade de combustíveis contribui mais, se não na totalidade, na depleção do recurso fóssil.

O conjunto de etapas a que os reciclados passam, explica o aumento proporcional e generalizado nos indicadores de impactos ambientais, nas demais categorias. Nota-se que, a intensidade dos impactos ambientais vai aumentando de forma proporcional à taxa de reciclo aplicada. Essa constatação, é particularmente mais pronunciada, no caso da produção do PE-AD. A diferença nos resultados com o caso da produção das sacolas plásticas, sugere que, para esta última, a libertação é relativamente menor como pode-se ver no início.

O PE-AD é pouco reciclável. Querendo usar esta técnica para reduzir a carga das garrafas plásticas feitas de Polietileno no ambiente, um estudo aprofundado deve ser feito de modo a se encontrar uma taxa de reciclo económica e ambientalmente óptima.

Efeito da proveniência da matéria-prima

Devido ao facto da empresa estudada, importar sua matéria-prima maioritariamente da África do Sul, o efeito da origem da matéria-prima também foi estudado, e é apresentado na Figura 20.

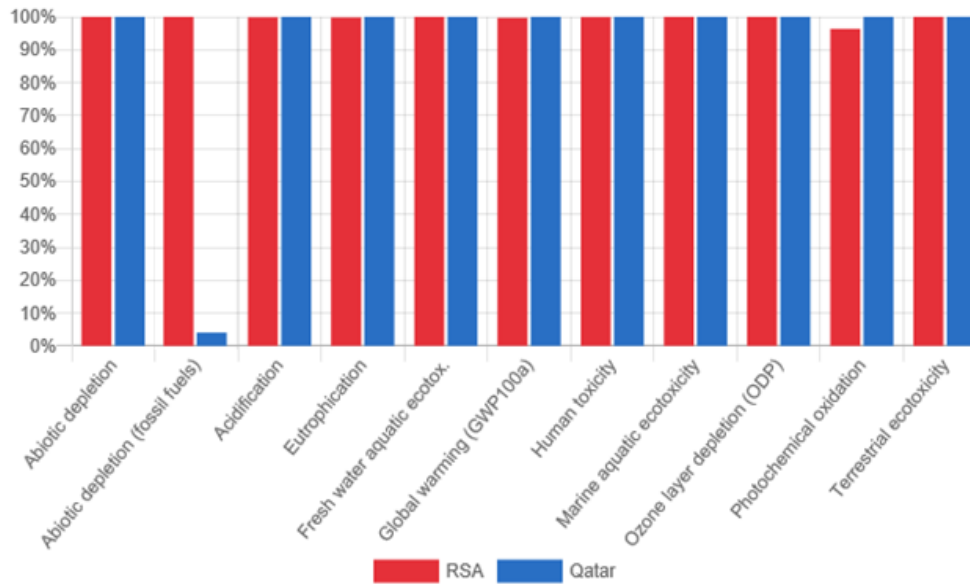


Gráfico 7-Efeito da proveniência da matéria-prima - Sacolas Plásticas

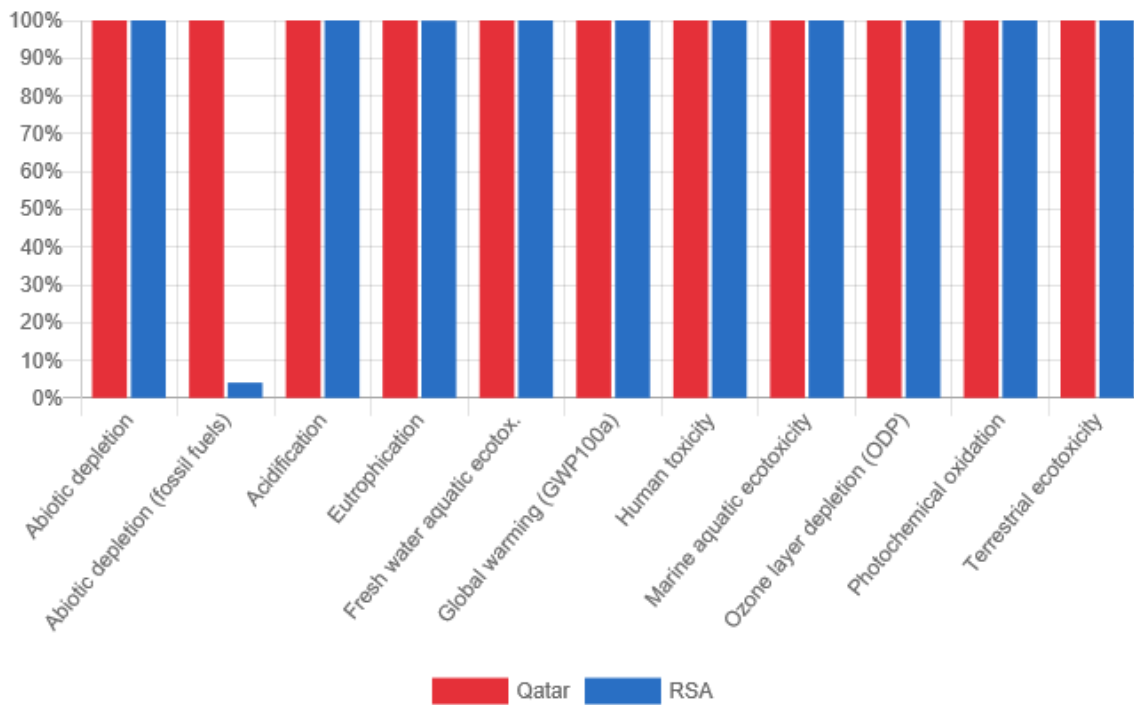


Gráfico 8-Efeito da proveniência da matéria-prima - Garrafas Plásticas

Verificou-se para os dois polímeros que, apenas a depleção abiótica dos combustíveis fósseis é notavelmente afectada, mostrando-se substancialmente menor. Tal como

mencionado aquando da discussão da taxa de reciclo, a distância percorrida é a que mais se responsabiliza por tal diferenciação. Aqui, mais uma vez, a quantidade de combustível fóssil usado para o transporte dos grânulos, desempenha um papel importante.

Trazer os grânulos de Qatar para Moçambique contribui mais para depleção dos combustíveis fósseis de forma reversa, enquanto trazer os grânulos da África do Sul, contribui menos, porque consome-se menos combustível e o transporte é feito em terra firme em uma curta distância.

Como esperado, a intensidade dos impactos ambientais obtidos simulando a produção de garrafas plásticas com grânulos de PE-AD, vindos da África do Sul, são praticamente as mesmas. A origem não afecta as categorias consideradas para o estudo, se não apenas a depleção abiótica de combustíveis fósseis.

Tabela 4-Dados de suporte do presente estudo

Tipo de polímero	Tipo de grânulo usado	Análise para:	Meio de transporte (aplicável para os dois polímeros)	Distância aproximada percorrida (km)
Saco plástico	Polietileno de baixa densidade (virgem e reciclado)	Para cada 1000 kg	Navio: de Qatar ao porto de Maputo	11.500
			Camião: do porto de Maputo à fábrica	4.2
			Camião: da Africa do Sul (Secunda) à fábrica	430
Garrafas PET	Polietileno de alta densidade	Para cada 1000 garrafas	Camião: da fábrica ao ponto de comércio + deposição final	6
			Camião: do ponto de comércio a deposição final	7

As informações foram fornecidas de acordo com a capacidade da empresa e analisada de forma integral. Estas informações foram obtidas via entrevista directa, com os responsáveis pela produção, por correio electrónico e pela análise de documentos por eles disponibilizados, os quais se encontram anexados neste trabalho. Algumas vezes, tais informações foram incompatíveis com os procedimentos requeridos, na manipulação do software, que suportou o presente estudo, o OpenLCA, havendo nessas situações, necessidades de conversão dessas informações, noutras formas compatíveis, o que poucas vezes exigiu que se assumisse certos factores de conversão.

Houve considerações de entradas energéticas no processo, no caso considerado como proveniente da rede pública e, portanto, maioritariamente hidroeléctrica pelo facto de que

intervieram diferentes meios no transporte dos grânulos (a matéria-prima virgem), da matéria prima reciclada e do produto final.

Outras informações úteis, com que se puderam aferir as contribuições ambientais por outros elementos envolvidos no processo, nomeadamente emissões por veículos pesados, que transportaram a matéria-prima e o produto final, a quantificação dos gases e particulados ao ambiente, associados aos outros processos como a moldagem, limpeza do material reciclado, a incineração, etc, ficou a cargo da base de dados da *Ecoinvent*, que se “alimentou” ao *software*, tendo as mesmas sido gratuitamente descarregadas do nexus.openlca.org.

Em função do desconhecimento da real capacidade produtiva da empresa estudada, as informações inseridas para as simulações foram normalizadas, tendo-se estabelecido uma base de cálculo para 1000 kg de PE-BD e 1000 unidades de PE-AD produzidos em cada processo simulado.

Como referenciado no capítulo anterior, existem vários métodos para a manipulação dos resíduos plásticos, nomeadamente deposição em aterros sanitários, incineração, reciclo em novos produtos, etc., cada um dos quais com os seus impactos ambientais associados. Juntam-se a esses impactos, as etapas unitárias fabris e pré-fabris.

Na fase de avaliação do impacto do ciclo de vida dos dois polímeros em análise, os resultados foram gerados com o auxílio do *OpenLCA*, na sua versão 1.10.3, e interpretados em respectivas categorias de impactos ambientais.

A abordagem utilizada foi já estabelecida, difundido e preferido método CML *Baseline 2001*.

Nas figuras 14 e 15 são apresentados os grânulos usados pela empresa na manufactura dos tipos de materiais plásticos de interesse neste trabalho.

As análises aqui apresentadas, são referentes à situação em que as matérias-primas são provenientes de Qatar enquanto que os que constam nos anexos estão relacionados com a proveniência Sul africana. Sucede que os resultados das duas situações, são muito próximos e, por isso, a discussão seria muito similar e, portanto, repetitivo.



Figura 14-Polímeros usados pela Topack (procurar melhor enquadramento para esta figura dentro do trabalho).



Figura 15-Grânulos virgens de PE-AD e PE-BD (procurar melhor enquadramento para esta figura dentro do trabalho)

4.1. MEDIDAS DE MITIGAÇÃO

A versatilidade oferecida pelos polímeros sintéticos é tamanha, que justificou maior produção destes elementos nos últimos anos e continua crescendo, a humanidade se debate ao seu manuseio. Acontece que, estes não são de fácil degradação, daí que, o destino final impróprio coloca em causa o equilíbrio dos ecossistemas.

Tal como relatado neste trabalho, a situação é certamente aplicável em outras áreas geográficas pelo mundo fora, é urgente que o homem tome medidas, antes que se encontre uma situação ambientalmente irreversível. É aplicável para a zona que se conduziu o presente estudo, propostas as seguintes medidas a serem exploradas:

Deve-se dar prioridade aos artigos reutilizáveis tendo como exemplo o cantil;

Sobre os descartáveis tendo como exemplo as garrafas de PE-AD, acção que certamente contribuirá na diminuição do volume de resíduos sólidos, actualmente produzidos.

Para a reciclagem, deve-se consciencializar as massas individualmente, a fazerem a separação dos diferentes tipos de plásticos, disponibilizando-se a nível municipal os recursos para o sucesso da medida, o que vai reduzir de forma significativa, a demanda energética necessária para a reciclagem dos mesmos e, com isso, diminuirá a poluição.

Sendo recursos provenientes do petróleo, os plásticos apresentam uma característica peculiar pois apresentam uma considerável densidade energética. Se efectuada de forma inovadora, economicamente viável e com respeito ao ambiente, com recurso ao uso de depuradores, precipitadores electrostáticos e filtros sofisticados para capturar gases nocivos, a energia química contida pode ser aproveitada e convertida em eléctrica.

A pirólise á altas temperaturas do plástico, pode quebrar as ligações poliméricas do plástico em outras menores que, podem ter algum valor comercial como exemplo, para a produção do diesel.

Deve haver incentivo, que visa inovar nos plásticos biodegradáveis para posterior uso dos mesmos.

Considerar outras técnicas de deposição ou reaproveitamento de garrafas plásticas. Capítulo V

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

Para se alcançar o objectivo do trabalho apresentamos os seguintes resultados, onde o desempenho ambiental, associado ao uso do PE-BD, mostrou em regra geral, melhores valores em relação ao uso do PE-AD pela relativa menor massa do PE-BD.

Para os dois polímeros (PE-AD e PE-BD), os valores das categorias de impacto estudados, mostram uma relação de proporcionalidade directa, sendo desfavorável quando se avalia a quantidade produzida dos dois polímeros (PE-AD e PE-BD).

Verificou-se que quantidade processada de sacolas e garrafas plásticas contribuem de maneira proporcional aos impactos ambientais gerados. O que significa que, quanto maior for a produção, maior será o impacto gerado.

O processo de incineração das sacolas plásticas, os impactos ambientais apresentam menor fracção de incineração e os impactos ambientais das garrafas.

No processo de moldagem, libertam-se gases potencialmente nocivos ao meio ambiente (CO₂, Metano, Clorofluorcarbono, Clorofórmio, Metil-cloro, Halon), que causam o aumento generalizado e proporcional dos valores nos indicadores dos impactos (Potencial do aquecimento global, Acidificação, Eutrofização, Oxidação fotoquímica), para os dois polímeros, referente ao estudo da sensibilidade das categorias de impacto.

A energia necessária para o processo de reciclagem dos polímeros, quando comparado com a energia que seria necessária para transformar grânulos virgens, aumenta a taxa de reciclo, aumentando os valores nas categorias dos impactos (Depleção abiótica, Degradação do habitat, Destruição da flora e saúde humana).

Com relação aos resultados obtidos neste trabalho, torna-se necessário a tomada de medidas para desacelerar o ritmo da degradação ambiental, causada pela produção desenfreada do material plástico sintético e adopção de medidas sustentáveis.

5.2. Recomendações

Para trabalhos futuros, recomenda-se:

- Um estudo relacionado com o consumo e eficiência energética da empresa estudada;
- Novos estudos da ACV, aplicados a outros tipos de resíduos e subprodutos industriais.
- Novo estudo de avaliação de ACV, comparando o PE-AD e PE-BD.
- Substituir o propileno no fabrico para a produção de embalagens plásticas flexíveis pois oferecem vários benefícios em relação sustentabilidade comparando com outras formas de embalagens, a produção, distribuição desses materiais consome menos energia e recursos naturais, emite menos gases de efeito estufa, aumenta a vida útil de produtos e facilita o transporte, usando menos combustíveis e gerando menor emissões.
- Para os problemas causados pelo descarte individual dos resíduos plásticos, seria a substituição dos plásticos tradicionais por polímeros biodegradáveis e compostáveis de fontes renováveis cujo ciclo de vida tende a ser menos poluente, visto que, sob condições favoráveis, se degradam em ambientes biologicamente ativos, não produzindo resíduos tóxicos para o ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, S. C. (2014). *Análise de Ciclo de Vida de Coberturas Ajardinadas*. Covilhã: Universidade da Beira Interior.

ABNT,2009^a.

Alhazmi et al,2021.

Barbosa, L. A. (2016). Polietileno de baixa densidade - PEBD: mercado, produção, principais propriedades e aplicações.

BRUSSEAU, (2019).

Caixeta, D. S. (2018). Nano e microplásticos nos ecossistemas: Impactos ambientais e efeitos sobre organismos. Goiânia: Enciclopedia Biosfera.

Carijó, R. d. (2016). Análise e proposta de uma gestão integrada de resíduos sólidos: O estudo de caso da comunidade da Babilónia. Brasil: Universidade Federal de Rio de Janeiro.

Casagrande, N. M. (2018). Inclusão dos impactos dos resíduos plásticos no ambiente marinho em avaliação de ciclo de vida. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

Cortez, A. T. (2010). *Embalagens: O que fazer com elas*. São Paulo: Universidade Estadual Paulista.

Cuccato, G. R. (2014). A importância da reciclagem dos plásticos e a consciencialização dos alunos do ensino médio. Medianeira: Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Coelho,2018.

Edwards, C. &. (2011). *Life cycle assessment of supermarket carrier bags*. Bristol: Environment Agency.

Ferreira, J. V. (2004). *Análise de ciclo de vida dos produtos*. Instituto Politécnico de Viseu.

Fortuna, A. L. (2020). Impactos ambientais dos plásticos: biopolímeros como alternativa para a redução do acúmulo de embalagens flexíveis de Polipropileno no meio ambiente. Rio de Janeiro: Universidade Federal de Rio de Janeiro.

Franchetti, S. M. (2003). A importância das propriedades físicas dos polímeros na reciclagem. Universidade Federal de Viçosa.

Hackenhaar, I. C. (2020). Avaliação do Ciclo de Vida para apoiar políticas públicas para o desenvolvimento urbano sustentável: um estudo de caso do sistema de transporte público coletivo de Porto Alegre. Porto Alegre: Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul.

Hiratuka, C. C. (2008). *Relatório de acompanhamento sectorial: Transformados plásticos*. Campinas: Agencia Brasileira de Desenvolvimento Industrial.

MAGRINI. (2012).

Mannheim, V. (2021). Life cycle assessment model of plastic products: comparing environmental impacts for different scenarios in the production stage. *Polymers*, 20.

Mansilha, M. B. (2017). Avaliação do ciclo de vida do alumínio primário utilizando o software OpenLca. *Revista espacios*.

Magrini et al, 2012.

Neves, J. L. (2016). Aplicação da ACV-Análise Ciclo de Vida, de Soluções Construtivas Simples de Alvenaria. Universidade do Porto.

Oliveira, J. M. (2007). *Produção mais Limpa no Setor Plástico*. Brasil: Centro Nacional de Tecnologias Limpas.

Oliveira, M. C. (2012). Gestão de resíduos plásticos pós-consumo: Perspectiva para a reciclagem no Brasil. Universidade Federal de Rio de Janeiro.

Pertussatti, C. A. (2020). Gestão ambiental de resíduos plásticos no Brasil: Subsídios para uma Diretriz Nacional. Brasília: Escola Nacional de Administração Pública.

Piatti, T. M. (2005). Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais (Conversando sobre ciência). Universidade Federal de Alagoas.

PIRES, M. e. (2011).

PLASTICS EUROPE. (2016).

Rezende, J. D. (2018). Avaliação do ciclo de vida ambiental e económica de sistemas de descentralizados de tratamento de esgotos envolvendo wetlands contruidos. Brasil: Universidade de São Paulo.

Rodrigues, T. T. (2018). *Polímeros nas indústrias de embalagens*. Universidade Federal de Uberlândia.

Rosa, C. A. (2014). A logística reversa aplicada nas garrafas PET: Um estudo de caso na empresa Coca-cola. Marília: Fundação de Ensino Eurípedes Soares da Rocha.

Russo, M. A. (2003). *Tratamento de resíduos sólidos*. Portugal: Universidade de Coimbra.

Santos, B. C. (2011). *Análise do ciclo de vida da embalagem de polietileno tereftalato*. Brasil: VII CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO.

Santos, D. C. (2014). Valorização de resíduos de embalagens de plástico de origem agrícola por pirólise. Portugal: Universidade Nova de Lisboa.

Silva, G. A. (2015). *Avaliação do Ciclo de Vida: Ontologia Terminológica*. Brasília: Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Ibict) .

Ugaya, C. M. (2019). *Recomendação de modelos de avaliação de impacto do ciclo de vida*. Brasília: Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Ibict).