

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: SACOLA PLÁSTICA X SACOLA DE PAPEL

Ricardo Braun Joaquim

Orientador: Prof. Dr. Sebastião Roberto Soares
Co-orientador: Msc. Cristiane Maria de Léis

2013
2º Semestre



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: SACOLA PLÁSTICA X
SACOLA DE PAPEL**

Ricardo Braun Joaquim

FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA: SACOLA PLÁSTICA X
SACOLA DE PAPEL**

Ricardo Braun Joaquim

Trabalho submetido à Banca
Examinadora como parte dos
requisitos para Conclusão do Curso
de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental – TCC II.

Orientador
Prof. Dr. Sebastião Roberto Soares.

Co-Orientadora
Msc. Cristiane Maria de Léis

FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2013

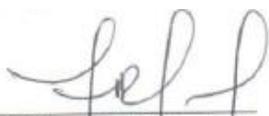
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA: SACOLA PLÁSTICA X
SACOLA DE PAPEL**

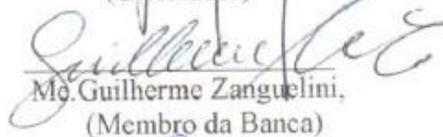
Ricardo Braun Joaquim

Trabalho submetido à Banca
Examinadora como parte dos
requisitos para Conclusão do Curso
de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental – TCC II.

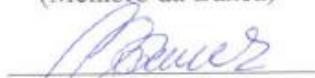
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Sebastião Roberto Soares.
(Orientador)



Msc. Guilherme Zanguelini,
(Membro da Banca)



Msc. Guilherme Demos
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2013

Pelo avesso, o lixo é a expressão de uma cidade. Não de sua alma, por certo, mas de seu corpo, daquilo que o reveste por fora e por dentro. É o sintoma de uma cidade, da mesma forma que o produto interno bruto de uma nação ou a renda per capita de um cidadão. O dejetos reflete o padrão econômico, social e cultural de uma cidade. Por isso difere tanto o lixo de Salvador, New York e de São Paulo. O lixo é problema urbano prioritário e, do ponto de vista político, virou atestado para o governante. Cidade limpa não é apenas cidade civilizada, mas imagem de seu povo e dos seus representantes políticos. O lixo é paradoxal: dá uma ideia de pobreza, embora seja a expressão evidente da riqueza.

Jorge da Cunha Lima

AGRADECIMENTOS

Aos mestres, por sua dedicação.
À família, por sua confiança e apoio.
Aos amigos, pelo privilégio da convivência e
Aos anjos, Bruna A, Gabriel D, Guilherme C,
Leandro L, Ricardo G, *in Memoriam*.

RESUMO

Na busca de uma resposta para identificação de quais processos produtivos utilizados para a fabricação de sacolas plásticas e de papel são menos impactantes para o meio ambiente, a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) foi utilizada. A Unidade Funcional deste estudo foi de 1000 unidades de sacolas com o mesmo desempenho, sendo que a fronteira do sistema foi do “berço ao portão”, ou seja, a disposição final das sacolas assim como o seu uso, não foram avaliados. No estudo referente ao PEAD como matéria-prima assim com a mistura de PEAD/PEBD reciclado, para as categorias de potencial de impacto, acidificação, eutrofização, toxicidade humana, ocupação de terra e aquecimento global, ambas as sacolas de plástico apresentam um melhor desempenho do que as sacolas de papel. O resultado geral dessas categorias obteve a proporção de 18,4:1 a favor do plástico, comparando o processo de produção da sacola feita de PEAD virgem e de papel. A proporção obtida para a mistura de plástico reciclado PEAD/PEBD foi de 18:1 a favor do plástico, quando comparada com a sacola de papel. O estudo mostrou que a produção de sacolas plásticas possui um melhor desempenho ambiental, sendo o plástico virgem melhor que o reciclado ou papel, isso pode ser explicado pelo fato desta produção ter um processo produtivo mais simples. No entanto, ressalta-se que estes resultados são referentes a esta comparação, em que para o papel foi utilizado dados primários e para o plástico dados secundários. Podendo a proporção entre plástico e papel ser menor do que a encontrado.

Palavras-chave: Avaliação de Ciclo de Vida, Sacolas Plásticas, Sacolas de Papel, Sustentabilidade.

ABSTRACT

In seeking of answer to identify which processes used to manufacturing paper and plastic bags are less impacting to the environmental, the methodology Life Cycle Assessment was used. The functional unit used in this study is 1000 units of bags, and the boundary of system was “cradle to gate”, in other words, end of cycle and the use of grocery bags, has not been considered. In the study of HDPE, as well the mix between HDPE/LDPE recycled, for the impact categories acidification, eutrophication, human toxicity, land occupation ad global warming, and both plastic bags performance better than paper bags. The overall result of these categories obtained the ratio 18,4:1 in favor of plastic, comparing the bag made with raw HDPE and paper. The ratio obtained for the mix of recycled plastics HDPE/LDPE was 18:1 in favor of plastic, compared with paper bag. The study showed that production of plastics bag, has a better environmental performance, bags made with raw material or recycled. This can be explained by the fact that production is much simpler. However, we emphasize that these results are for this comparison, in which the paper used primary data and plastic used secondary data. May the ratio of plastic and paper be somewhat lower than that found.

Keywords: Life Cycle Assessment, Plastic Bag, Paper Bag, Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Percentual dos plásticos em diversas atividades.	23
Figura 2. Processo de produção do polietileno.	24
Figura 3. Fluxograma simplificado da produção de papel Kraft.	27
Figura 4. Desempenho ambiental de sacolas utilizadas pela Natura Cosméticos.	29
Figura 5. Desempenho ambiental de sacolas para supermercado.	32
Figura 6. Fases de uma ACV.	35
Figura 7. Localização dos municípios de Vargem Bonita (Empresa de Papel e Celulose), de Gaspar (BelPlas) e de Florianópolis (UFSC).	40
Figura 8. Exemplo de sistema de produto avaliado.	41
Figura 9. Fronteira do sistema de produto: plástico.	42
Figura 10. Fronteira do sistema de produto: papel.	43
Figura 11. Potencial de Acidificação (Kg SO ₂ equivalente).	47
Figura 12. Potencial de Eutrofização (Kg PO ₄ equivalente).	48
Figura 13. Potencial de uso e ocupação do solo (m ² ano).	49
Figura 14. Potencial de Toxicidade Humana (Kg 1,4 DB equivalente).	50
Figura 15. Potencial de Aquecimento Global (Kg CO ₂ equivalente).	51
Figura 16. Categorias de impacto ambiental avaliadas.	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV- Avaliação de Ciclo de Vida
ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria Plástica
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
AICV – Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
CFC_s - Clorofluorcarboneto
CH₄ – Gás metano
CICLOG - Grupo de Pesquisa em Avaliação de Ciclo de Vida
CO – Monóxido de Carbono
CO₂ – Gás carbônico
EEA – *European Environment Agency*
GWP – Global Warming Potencial
ICV – Inventário do Ciclo de Vida
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO - *International Organization for Standardization*
NaOH – Hidróxido de Sódio
Na₂S – Sulfeto de Sódio
NO_x – Óxido de Nitrogênio
PE - Polietileno
PEAD - Polietileno de alta densidade
PEBD - Polietileno de baixa densidade
PLASTIVIDA - Instituto Sócio Ambiental do Plásticos
SO_x – Óxido de Enxofre
TNT - Tecido não tecido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
2.OBJETIVOS	21
2.1 Objetivo Geral	21
2.2 Objetivos Específicos	21
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
3.1. Caracterização do plástico e sua utilização em sacolas plásticas	22
3.2. Polietileno	23
3.3. Sacolas Plásticas	25
3.4 Característica do papel e celulose	26
3.4.1 Impactos gerados pela indústria de papel e celulose	28
3.4.2 ACVs de sacolas de Papel e outros estudo de referência	29
3.4.3 Substituição da madeira como fonte de matéria prima.....	30
3.4.4 Avaliação do Ciclo de Vida do papel	30
3.4.5 Estudo ACV Realizado pela Franklin Associates	31
3.4.6 Estudo ambiental de sacolas	31
3.4.7 Estudo realizado pela Fundação Espaço-Eco	32
3.4.8 Estudo realizado na África do Sul	33
3.4.9 Estudo realizado com consumidores em Israel.....	33
3.4.10 ACV realizada nos Estados Unidos.....	33
3.5 Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).	34
3.5.1 Etapa 1 - Definição do objetivo e escopo.	35
3.5.2 Etapa 2 – Análise do Inventário de ciclo de vida (ICV).	36
3.5.3 Etapa 3 – Avaliação do impacto do ciclo de vida.....	36
3.5.4 Etapa 4 – Interpretação do ciclo de vida.....	37
4. METODOLOGIA	39
4.1. Caracterização do Local de Estudo.....	39
4.2. Definição do Sistema de Produto.....	40
4.3.Definição da unidade funcional e fronteira do sistema	41
4.5 Análise de Inventário.....	43
4.6. Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV)	45
4.7 Interpretação	45
5. RESULTADÓS E DISCUSSÕES	46
5.1 Acidificação	46
5.2 Eutrofização	47
5.3 Uso e Ocupação do Solo	48
5.4 Toxicidade Humana	49
5.5 Aquecimento Global	50
5.6. Resultado Geral.....	51
6. CONCLUSÃO.....	54
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com questões ambientais e de desenvolvimento em relação a embalagem tem pelo menos 20 anos, quando se tornou um desperdício (WILLIAMS; WIKSTRÖM, 2011). O uso de sacolas plásticas ou de papel em supermercados, é uma prática comum em todo mundo o que conseqüentemente gera impactos ambientais, seja na sua produção ou na disposição final.

O mundo consome aproximadamente 1 milhão de sacolas plásticas por minuto (WALDMAN; SNEIDER, 2000). No Brasil em 2012, foram consumidas aproximadamente 12,1 bilhões de unidades (PRASTVIDA, 2013). O problema ocasionado pelo excesso de sacolas no mercado está no descarte desse material que acaba gerando impactos negativos no meio ambiente.

Quando pensamos no uso de sacolas plásticas teremos que, necessariamente refletir sobre duas questões prioritárias. Primeiramente, a produção das sacolas requer fonte fóssil, altamente poluente como matéria prima. A outra questão é o destino dado às sacolas. Apesar de 80 % (oitenta por cento) das sacolas produzidas no Brasil serem reutilizadas como saquinhos para lixo doméstico, o destino final de boa parte destes são: os rios, mangues, áreas de mananciais, córregos, terrenos baldios, calçadas e lixões, prejudicando a drenagem urbana, a flora e a fauna local (WALDMAN, 2000). E conforme Álvarez- Chávez et al. (2012) os plásticos são considerados materiais essenciais na sociedade de hoje, mas durante todo seu ciclo de vida contribuem para a poluição e o esgotamento dos recursos naturais não-renováveis.

No caso das sacolas de papel, o problema ambiental muitas vezes está relacionado à fonte de matéria prima: árvores, que demandam extensas áreas de terra. Além disso, o processo de fabricação de papel utiliza uma série insumos químicos que geram impactos ambientais, quando utilizados em excesso e não destinados corretamente (FOECKEL, 2007).

No entanto, a crescente conscientização quanto à importância da proteção ambiental e os possíveis impactos associados aos produtos, tanto na sua fabricação quanto no seu consumo, têm aumentado o interesse no desenvolvimento de métodos para melhor compreender e lidar com os impactos. Uma das técnicas em desenvolvimento com esse objetivo é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (ABNT, 2009b).

A ACV é uma entre várias metodologias de gestão ambiental e sua regulamentação no Brasil é dada pela série de normas da ABNT

NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044 atualizada no ano de 2009 (ABNT, 2009a; 2009b). É um dos mais difundidos métodos de avaliação do impacto ambiental dos produtos e serviços em muitos setores (HOSPIDO et al., 2010).

A ACV tem como função avaliar aspectos ambientais e identificar possíveis correções na linha de produção destes materiais, desde a extração da matéria prima que o compõe até sua destinação final, visando o controle e/ou redução de impactos ambientais (ABNT, 2009a; 2009b). Esse tipo de análise envolve todas as etapas de produção e consumo, que pode ser “do berço ao túmulo” (*cradle-grave*).

A utilização desta metodologia no presente trabalho de conclusão de curso tem por objetivo avaliar o desempenho ambiental de processos e/ou serviços de produção de sacolas plásticas e de papel, possibilitando contribuir na identificação de estratégias mais eficazes do ponto de vista ambiental, sinalizando as vantagens e desvantagens da utilização de determinado produto.

2.OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho ambiental de sacolas plásticas e de papel utilizadas em supermercados, com o uso da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida – ACV.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar os processos mais impactantes ao meio ambiente na produção de sacolas plásticas e de papel;
- Comparar o ciclo de vida de sacolas plásticas e de papel;
- Indicar o processo com melhor desempenho ambiental.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

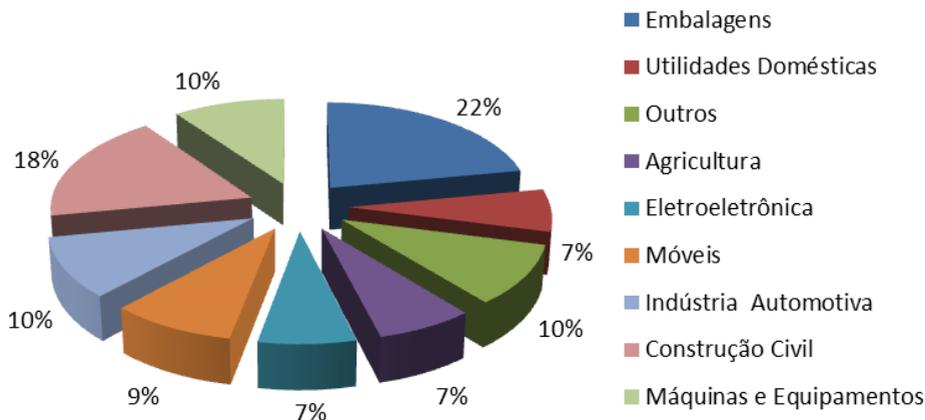
A revisão bibliográfica tem como propósito buscar evidências em publicações existentes, para servirem como comparação para os resultados encontrados nesse trabalho, com o intuito de fortalecer a conclusão da pesquisa que envolve a análise do desempenho ambiental da produção de sacolas plásticas e de papel. Durante a revisão uma breve descrição sobre as matérias primas utilizada, tipos de processos industriais adotados e os resíduos gerados em cada processo serão abordados, assim como a aplicação dos produtos gerados no dia a dia.

3.1. Caracterização do plástico e sua utilização em sacolas plásticas

Os plásticos são de fundamental importância em nossa sociedade, sendo que os materiais que o compõe são determinantes para a sustentabilidade ambiental (ABIPLAST, 2013; ÁLVAREZ-CHÁVES et al., 2012; NETO et al., 2011). A substituição de plásticos à base de petróleo por outras alternativas é visto de forma promissora, pelo fato de reduzir a dependência por combustíveis fósseis e também pela pressão sobre os aterros de resíduos sólidos (ÁLVAREZ-CHÁVES et al., 2012). Estes autores ressaltam ainda que os materiais de base biológica são promissores pelo uso de matérias-primas renováveis, isso porque podem ser compostados ou reciclados, e seu processo de produção pode ser mais eficiente do que o processamento de plásticos à base de petróleo.

Conforme Neto et al. (2011), a indústria de embalagens é a que mais utiliza produtos plásticos, seguido da construção civil com 18 % e da indústria automotiva, bem como outras atividades (Figura 1).

Figura 1. Percentual dos plásticos em diversas atividades.



Fonte: Neto et al. (2011).

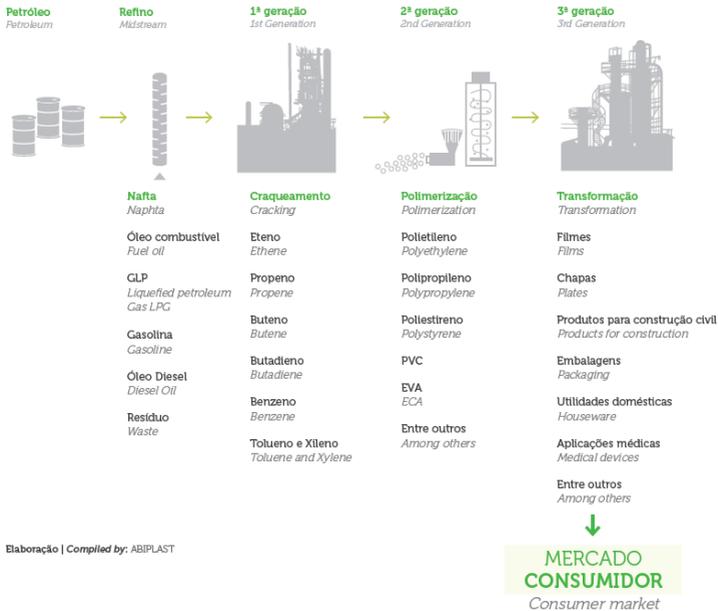
3.2. Polietileno

A principal matéria-prima para a produção de plásticos é o polietileno, que é um polímero de alta densidade e termoplástico, derivado do monômero etileno (Figura 2). Esse composto é originalmente derivado do petróleo e classificado de acordo a sua estrutura, podendo ser linear ou ramificada (COUTINHO et al., 2003).

Existem cinco tipos de polímeros de polietileno que variam de acordo com o processo catalítico empregado na polimerização, tais como:

- Polietileno de baixa densidade (PEBD ou LDPE);
- Polietileno de alta densidade (PEAD ou HDPE);
- Polietileno linear de baixa densidade (PELBD ou LLDPE);
- Polietileno de ultra-alto peso molecular (PEUAPM ou UHMWPE),
- Polietileno de ultra baixa densidade (PEUBD ou ULDPE).

Figura 2. Processo de produção do polietileno.



Fonte: ABIPLAST (2013).

O polímero utilizado para fabricação de sacolas plásticas no Brasil nem sempre é o mesmo dependendo do fabricante. O polímero utilizado pode variar entre o Polietileno de Baixa densidade (PEBD ou LDPE) e o Polietileno de Alta Densidade (PEAD ou HDPE), podendo também ocorrer a mistura de ambos.

O Polímero de baixa densidade (PEBD) possui longas ramificações devido as suas propriedades. Ele pode ser usado para fabricação de filmes laminados, filmes para embalar alimentos, embalagens, brinquedos, revestimentos de fios e cabos (COUTINHO et al., 2003). O Polietileno de alta densidade (PEAD) possui cadeias lineares menos flexíveis. Por extrusão, é aplicado em isolamento de fios telefônicos, sacos para congelados, revestimento de tubulações metálicas redes para embalagem de frutas, fitas decorativa, sacos para lixo e sacolas de supermercados (COUTINHO, et al., 2003).

O PEAD e o PEBD geralmente podem ser aplicados para a confecção dos mesmos produtos, tendo diferenças em algumas características. O PEAD é mais resistente e duro, enquanto que o PEBD é mais flexível e transparente.

3.3. Sacolas Plásticas

As sacolas plásticas além de acondicionarem e transportarem as compras do supermercado tem sido utilizadas como sacolas de lixo em muitas residências.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT iniciou um estudo em 2011 para determinar quanto tempo às sacolas brasileiras (TNT, papel, plástica e plástica com pró-oxidante) levam para se decompor. Concluíram que a decomposição do papel foi mais eficiente do que as demais, sendo o pior resultado para o TNT. E para o IPT (2011), nenhuma sacola pode ser considerada de fácil degradação, ou seja, não serão degradadas rapidamente pela natureza.

O processo de produção das sacolas plásticas se inicia com a extração da matéria prima rica em carbono, o petróleo. A partir do petróleo, é possível extrair diversos componentes, um deles é o etileno, monômero, do polietileno usado na fabricação de plásticos flexíveis. As etapas que envolvem a produção da sacola plástica são:

- 1- A matéria prima, polietileno chega na fábrica em forma granular, ou no caso da fábrica visitada para este estudo é necessária a transformação da mesma para forma granular, e é depositado no funil de entrada do processo;
- 2- O funil alimenta o extrusor com PEBD/PEAD;
- 3- A resina de polietileno é aquecida e com a ajuda de um jato de ar, é formado o filme plástico com abertura interna. Também podem ser adicionados pigmentos para dar cor conforme a necessidade do cliente;
- 4- Conforme o operador utiliza uma quantidade extra de ar para soprar a resina pela torre de extrusão, o diâmetro requerido é alcançado;
- 5- No topo da extrusora, o filme plástico já está resfriado e então rolos motorizados pegam o filme de polietileno solidificado, assumindo o papel de puxar o filme de PEBD/PEAD da torre de resfriamento;
- 6- O filme agora viaja na horizontal, sobre e sob uma série de rolos e é enrolado em bobinas. Para sacolas simples ou mais reforçadas, o filme segue para uma única linha de produção, onde, outra máquina sela o fundo da sacola e a perfura ao mesmo tempo, processo conhecido como corte e solda. A perfuração permite que as sacolas sejam facilmente destacadas do rolo.

Durante o processo de extrusão, esse filme plástico pode sofrer um tratamento conhecido como “Corona”. Esta consiste no uso de uma descarga elétrica contínua de alta voltagem e alta frequência, que aumenta a umectabilidade (capacidade de uma superfície promover a expansão e aderência de um líquido, como tintas e pinturas) (APACHE EMBALAGENS PLÁSTICAS Ltda, 2012).

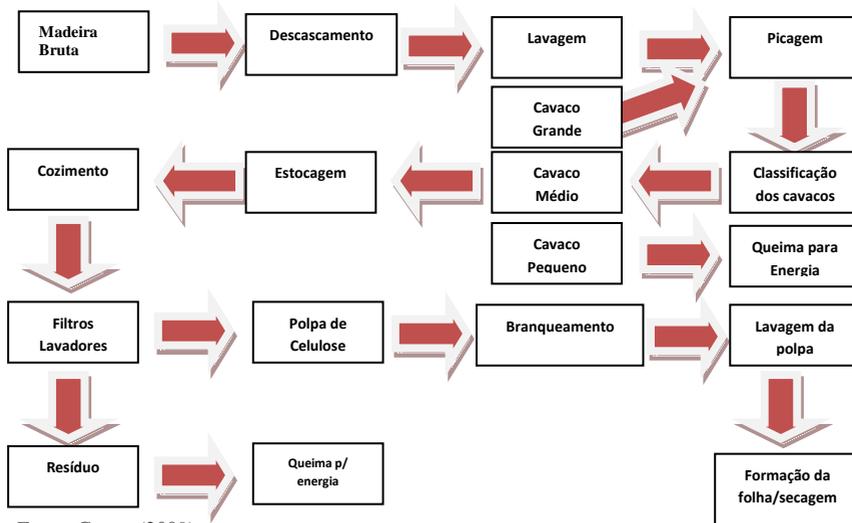
Devido à importância do tema e as constantes manifestações geradas em torno do uso de sacolas, alguns estudos com o intuito de esclarecer os impactos gerados pelo consumo de sacolas foram realizados.

3.4 Característica do papel e celulose

No Brasil as principais fontes de celulose, são os reflorestamentos de *Pinus* sp. e *Eucaliptus* sp., responsáveis por 98 % do volume produzido (BRACELPA, 2013). A transformação da madeira em pasta celulósica consiste na separação das fibras que as constituem.

O processo de fabricação do papel é constituído por várias etapas, sendo elas divididas em: descascamento, lavagem, picagem, classificação dos cavacos, cozimento e recuperação dos processos alcalinos, como pode ser visualizado na Figura 3 (CASTRO, 2009).

Figura 3. Fluxograma simplificado da produção de papel Kraft.



As principais etapas que envolvem a produção de papel são:

- 1- Os troncos de madeira são enviados para o descascador mecânico e posterior lavagem da superfície para remover impurezas (terra, areia e detritos em geral). O efluente gerado desta lavagem contém alta concentração de sólidos suspensos, que pode ser tratado através de caixas de areias, no pátio e reutilizado na própria lavagem das toras (MIELI, 2007).
- 2- Depois de descascadas e lavadas, as toras seguem para a picagem, com o intuito de serem transformadas em cavacos, de tamanho apropriado para o cozimento.
- 3- Após a seleção dos cavacos, os mesmos seguem para o cozimento. O processo Kraft de cozimento é o tipo mais utilizado e onde ocorre a solubilização da lignina em um equipamento chamado de digester. Nesse processo é adicionado um licor de cozimento constituído de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S) em solução aquosa, gerando uma pasta forte (MIELI, 2007), com elevado potencial de impacto ambiental.
- 4- A lignina é degradada, possibilitando a separação das fibras, obtendo-se uma massa constituída pelas fibras individualizadas e pelo licor residual, conhecido como licor negro devido a

coloração. A polpa celulósica Kraft obtida é a utilizada para a confecção dos sacos utilizados em supermercados, por exemplo.

O licor negro gerado no processo de cozimento da polpa de celulose é um subproduto do processo de digestão dos cavacos, como dito anteriormente e tem poder calorífero é suficiente para a geração de energia necessária a fábrica de celulose, reduzindo os custos produtivos (AMARAL, 2008).

3.4.1 Impactos gerados pela indústria de papel e celulose

Algumas das críticas para o setor de produção de celulose e papel são em relação as extensas áreas ocupadas pelos reflorestamentos, bem como a perda da biodiversidade nestas regiões.

Segundo Miranda (2008), o principal impacto da ausência de plantações florestais no país, seria a pressão sobre as florestas nativas do Brasil. Para se produzir o mesmo volume de madeira a partir de plantações florestais, seria necessário a mobilização de algo em torno de 200 milhões de hectares de florestas nativas em regime de manejo florestal sustentado, devido à sua baixa produtividade ($1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Isso representa menos da metade da área de floresta nativa pública de produção existente no País.

Segundo Mieli (2007), as fábricas de papel e celulose que utilizam o processo Kraft utilizam muita água no seu processo, gerando grande quantidade de efluentes líquidos, ricos em sólidos suspensos, matéria orgânica dissolvida, cor e compostos organoclorados (quando o cloro é utilizado). Além de gerar emissões de materiais particulados, compostos sulfurosos reduzidos, óxidos de nitrogênio, compostos orgânicos voláteis, cloro e dióxido de carbono (utilizado para o processo de branqueamento).

Segundo Piotto (2003), a maior fração de resíduos sólidos resultantes do processo é composto pelo lodo gerado no tratamento de águas residuárias. O lodo biológico e físico-químico são de difícil desidratação.

Um estudo realizado por Oliva (2012), abordou a problemática relacionada a terceirização da produção de toras de eucalipto utilizadas na produção do papel que vem ocorrendo como uma forma de contrato entre as fábricas e os produtores da *commodity* no município de Suzano, interior de São Paulo. Segundo Oliva (2012), uma parte dos agricultores utiliza herbicida na vegetação das áreas a serem semeadas, podendo

contaminar o solo, devido as características de monocultura do *Eucalyptus* sp. Outra questão abordada foi que os produtores não atendem a legislação que determina a área destinada a reserva legal das propriedades, além de utilizarem poucos equipamentos de proteção durante o corte dos *Eucalyptus* sp.

3.4.2 ACVs de sacolas de Papel e outros estudo de referência

Em 2005 a empresa de cosméticos Natura, apresentou o resultado da Análise de Ciclo de Vida que teve como intuito decidir qual sacola apresentava o melhor desempenho ambiental. Foram utilizadas sacolas fabricadas com 50 % de material reciclado pré-consumo e 50 % Polietileno virgem. A comparação ambiental mostrou que este era o item de maior impacto ambiental comercializado pela Natura em 2002, demandando assim uma substituição desse produto. A empresa viabilizou a ideia da utilização de sacolas de papel, fabricadas com 100 % de papel reciclado (75 % aparas pré-consumo e 25 % aparas pós-consumo) como alternativa ao uso de sacolas plásticas. Segundo a empresa a nova proposta se mostrou menos impactante e foi adotada pela empresa em 2003 (MENDES, 2005).

Figura 4. Desempenho ambiental de sacolas utilizadas pela Natura Cosméticos.

	Sacolas de Plástico	Sacolas de Papel Reciclado
Total/ Ano (Unidades)	34.492.770	34.492.770
m (g)	13,4	30,4
m total (Tonelada)	462	1.049
Impacto/ un (mPt)	4,7	3,5
Impacto Total (mPt)	161.426.164	121.414.550
Impacto Total Natura (mPt)	2.467.121.416	2.427.109.803
Resultado	Redução do Impacto total Natura em 1,6 %	

Fonte: www.natura.net

Obs: a unidade mPt é referente a Metodologia Eco-Indicator 99 utilizada, levando em consideração a ponderação das categorias de impacto End-Point (relacionadas a Danos); Qualidade do ecossistema e saúde humana.

Um dos grandes problemas relacionados também a produção de papel no Brasil é o fato de que a principal fonte de matéria prima ser

originária de árvore não nativa no Brasil. Segundo Mosca (2008) o *Eucalyptus* sp. é de origem Australiana e pode causar impactos ambientais negativos. A utilização do *Eucalyptus* sp. em atividades agroindustriais, tem se mostrado economicamente viável e sustentável para propriedades de pequeno e médio porte.

3.4.3 Substituição da madeira como fonte de matéria prima

Os autores Harris et al. (2008), elaboraram uma solução técnica e econômica a fim de substituir o uso da madeira para elaboração da polpa celulósica necessária a confecção de papel e para lidar com o licor negro efluente do processo. O estudo utilizou resíduos da agricultura em vez de madeira como fonte de matéria prima. Países como China, Índia e Paquistão tem tradição na utilização de resíduos da agricultura para confecção de papel. O estudo abordou o projeto de uma pequena fábrica bioregional (MiniMill Bioregional), que foi desenhada em escala piloto para a utilização de palha, cânhamo, linho ou material não oriundo da madeira, com o intuito de diminuir a dependência de matéria prima originária das florestas.

A ideia também é utilizar energia proveniente do efluente gerado no processo, pois a indústria do papel é a quinta maior usuária de energia do mundo. Segundo os autores esse processo poderia diminuir a dependência das florestas, além de utilizar um material tipo como sobras sem utilidade. O projeto foi desenvolvido no Reino Unido, mostrando que a intensificação dos processos químicos e energéticos, através da recuperação pode trazer significantes vantagens, econômicas e técnicas. E isto pode promover uma mudança no processo largamente difundido desde 1930 (digestor Kraft). Esse processo, irá contribuir para uma maior eficiência dos recursos locais ao mesmo tempo incorporando um maior benefício social, mantendo-se a produção de um papel de qualidade.

3.4.4 Avaliação do Ciclo de Vida do papel

Uma ACV realizada Venditti (2011) de produtos de papel, analisou os impactos ambientais relacionados ao aquecimento global, acidificação e toxicidade. O estudo comparou as opções de reuso, incineração e depósito em aterros sanitários para o papel, chegando ao resultado de que a recuperação do papel para fabricação de novos materiais ou incineração para criação de energia é mais desejável do que dispor em aterros. Conforme Venditti (2011), a reciclagem do papel e o

aumento de produção de produtos que possam ser reciclados são benéficas para o meio ambiente.

3.4.5 Estudo ACV Realizado pela Franklin Associates

Apesar de antigo, esse estudo foi e ainda é de grande importância acadêmica pois é citado como referência em várias obras. A ACV realizada por Franklin Associates (1990), tem sido referência para diversos estudos. O objetivo foi avaliar os impactos energéticos e ambientais pelo uso das sacolas de polietileno e de papel não branqueado. A razão desse estudo é fundamentada no decréscimo da capacidade dos aterros sanitários dos Estados Unidos e pelo fato, estimado grosseiramente, 1/3 do peso do resíduo sólido municipal ser composto por embalagens. A metodologia aplicada foi do “berço ao túmulo” para 10.000 saquinhos de plástico e papel (unidade funcional).

Os resultados mostraram que a energia necessária para produção de sacolas de PE foi de 20 % a 40 % menor do que para produzir a sacola de papel, ambos com 0 % de reciclagem. As sacolas de PE geraram 74 % a 80 % menos resíduo do que o papel. E mesmo com a fonte utilizada na produção sendo oriundo da reciclagem, o PE gerou menos resíduo quando comparado a qualquer taxa de reciclagem do papel. As emissões atmosféricas das sacolas de PE foram de aproximadamente 63 % a 73 % menores do que o papel. Caso os materiais sejam incinerados, o papel possui um maior potencial para geração de energia, contudo os sacos de PE ocupam um percentual de 70 % a 80 % menor de volume caso sejam aterrados, com base no estudo de 10.000 unidades.

3.4.6 Estudo ambiental de sacolas

Um estudo de grande porte foi encomendado pelo Governo Britânico e realizado pela Agência do Meio Ambiente do Reino Unido em 2006 (EDWARDS; FRY, 2006). O estudo abrangeu as sacolas mais utilizadas em supermercados da Inglaterra, sendo importante destacar as que utilizam PEAD, PEBD e papel. O estudo inglês apontou que o impacto gerado, independente do tipo de sacola, está relacionado com a matéria prima utilizada e os estágios de produção, sendo que o transporte, uso secundário, disposição final tem uma influência mínima em suas performances (EDWARDS; FRY, 2006).

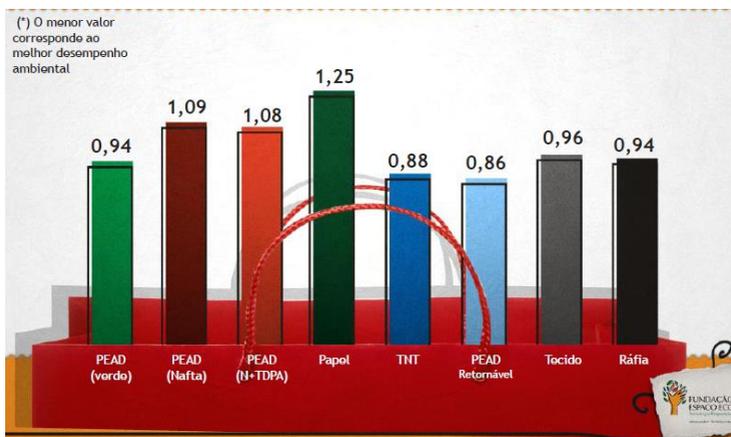
E conforme Edwards e Fry (2006), a chave para reduzir o impacto ambiental independe do tipo de sacola, mas sim da reutilização

das mesmas quantas vezes forem possíveis e quando o reuso para fazer compras não for possível, utilizá-las como lixeiras pode ser útil. Segundo os autores, as sacolas de papel, PEBD, de Polipropileno e as de algodão, devem ser reutilizadas 3; 4; 11 e 131 vezes, respectivamente, para garantir que terão um menor potencial de aquecimento global em relação as sacolas feitas de PEAD que não serão reutilizadas. Isso porque a reciclagem geralmente origina uma pequena redução no potencial de aquecimento global e uso de recursos abióticos.

3.4.7 Estudo realizado pela Fundação Espaço-Eco

No Brasil, a Fundação Espaço-Eco, também realizou um estudo sobre o uso de sacolas plásticas em supermercados brasileiros, levando em consideração diversos tipos de plásticos, com exceção do PEBD. O estudo mostrou que nem sempre as sacolas ditas retornáveis são melhores para o meio ambiente, pois existem cenários em que a sacola descartável é mais eficiente. O papel teve o pior desempenho ambiental na média ponderada realizada no estudo (1,25). O melhor desempenho ambiental foi do PEAD retornável com 0,86, seguido do TNT com 0,88 e da Ráfia e PEAD verde com 0,94 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Esse índice foi criado através da análise de diversos parâmetros de ponderação como: consumo de energia, uso da terra, rejeitos, potencial de toxicidade.

Figura 5. Desempenho ambiental de sacolas para supermercado.



3.4.8 Estudo realizado na África do Sul

Outro estudo realizado na África do Sul, utilizando a metodologia de ACV, envolveu também a comparação entre o consumo de sacolas plásticas e de papel no país (SEVITZ, BRENT; FOURIE, 2013). O consumidor Sul Africano ao optar por um produto baseado nas suas características ambientais, acaba por influenciar também a indústria de manufatura local. Recentemente no país o uso de sacolas tem despertado a atenção das autoridades ambientais, devido a sua presença constante no meio ambiente. Segundo o estudo as sacolas de papel têm uma capacidade maior de carga do que as sacolas plásticas. Entretanto, o seu uso causa mais impacto ambiental em uma proporção de 2,5 plásticos: 1 papel. Mesmo com essa proporção o resultado da pesquisa não é confiável. O estudo concluiu também que para o papel ser considerado vantajoso, a taxa de reciclagem do mesmo deve ser elevada significativamente para se tornar competitiva (SEVITZ et al., 2013).

Neste estudo Sul Africano foram analisadas também sacolas de plástico biodegradável, sacolas retornáveis, sacolas de papel, sacolas de pano entre outras, dando ênfase na disputa entre sacolas de PEAD x Papel (SEVITZ, BRENT; FOURIE, 2013) Todo o estudo foi baseado na norma ISO 14044 (2009b), o que favorece a comparação com este Trabalho de Conclusão de Curso.

3.4.9 Estudo realizado com consumidores em Israel

Uma solução alternativa utilizada em Israel para a redução da utilização de sacolas plásticas prevê a cobrança pelo uso destas em vez de tentar apontar qual material é menos impactante para o meio ambiente. O estudo questionou os consumidores de sacolas locais quanto a cobrança pelo uso de sacolas, o resultado mostrou que conforme aumenta o preço cobrado pelas sacolas, o consumo das mesmas diminuiu (AYALON et al., 2009).

3.4.10 ACV realizada nos Estados Unidos

Outro estudo de caso com a ACV, foi realizado pelo Bousted & Associates Ltda. em 2007 por Chaffee e Yaros nos Estados Unidos. O estudo concluiu que as sacolas de polietileno possuem um impacto significativamente menor do que sacolas produzidas com 30 % de papel reciclado e plástico compostável (biodegradável). Além disso, o estudo mostrou que as tradicionais sacolas de PE utilizam menos combustíveis

fósseis, energia, geram menos resíduos sólidos e emissões de gases estufa, que as sacolas feitas com plásticos biodegradáveis.

3.5 Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica de diagnóstico. Por suas características pode operar em conjunto com enfoques de engenharia, ou mesmo com outras das várias técnicas de que faz uso a gestão ambiental, no exercício de abordagens proativas no âmbito da relação entre sistemas de transformação antrópicos e seu entorno. Sua forma de aplicação no Brasil segue os requisitos e demais orientações descritos nas normas ABNT NBR ISO 14040 e 14044 atualizadas no ano de 2009 (ABNT, 2009a; 2009b).

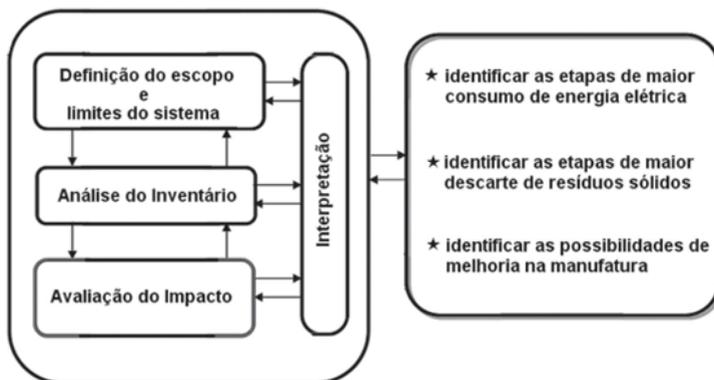
O termo “Ciclo de Vida” refere-se à maioria das atividades no decurso da vida do produto desde a sua fabricação, utilização, manutenção e destinação final; incluindo aquisição da matéria prima necessária para a fabricação do produto (USEPA, 2006).

Conforme ABNT (2009a) a ACV pode ser utilizada para:

- Identificar oportunidades para melhoria do desempenho ambiental de produtos;
- Seleção de indicadores ambientais relevantes;
- Especificar dados ambientais dos produtos, comprovando a origem/fabricação e destino dos mesmos, possibilitando a utilização dessas informações pelo setor de marketing das empresas.

Um estudo de ciclo de vida é dividido em quatro etapas (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**, sendo elas: Objetivo e escopo, Análise do Inventário, Avaliação dos Impactos e Interpretação dos resultados. Na primeira etapa é definido o propósito da pesquisa, as fronteiras de estudo e definição de requisitos. Na segunda, é realizado um levantamento quantitativo, isto é, a quantidade de energia envolvida no processo e de todos os insumos utilizados para tal, as entradas e saídas e a coleta dos dados necessários. Posteriormente, é realizada a avaliação e caracterização do processo para que na etapa de Interpretação, seja possível identificar e apontar as soluções menos impactantes ao meio ambiente e menos onerosas para as empresas.

Figura 6. Fases de uma ACV.



Fonte: ABNT (2009a).

A ACV em geral, constitui-se como um importante instrumento de avaliação utilizado pelas empresas, para tomar decisões e corrigir sistemas produtivos defasados. Durante o desenvolvimento do produto, fatores como qualidade tecnológica, ambiental e valor agregado, devem ser integrados para obter um produto de excelência. A utilização do estudo promove o desenvolvimento integrado do produto, trazendo benefícios para o consumidor e para empresa (CHEHEBE, 1998). A seguir serão descritas as etapas da ACV e suas especificações.

3.5.1 Etapa 1 - Definição do objetivo e escopo.

Na fase inicial após a definição do tema e da aplicação do estudo, os objetivos devem ser firmados. A norma ABNT (2009b) recomenda que seja definido nessa fase do estudo, a aplicação pretendida, as razões para a execução do estudo, o público-alvo da pesquisa e se existe a intenção de utilizar os resultados em afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente.

Com os objetivos definidos, a fase seguinte é a elaboração do escopo. O escopo deve abranger informações como, a fronteira do sistema a ser estudada, a definição da unidade de processo, limitações, dados a serem utilizadas no sistema, referências geográficas do local, tipo de relatório que será gerado, a unidade funcional, categorias de impacto selecionadas e metodologia para avaliação de impactos, bem como a interpretação. A unidade funcional é fundamental para estudos comparativos, pois ela define as variáveis quantitativas a serem utilizadas.

3.5.2 Etapa 2 – Análise do Inventário de ciclo de vida (ICV).

Uma vez definido os objetivos e o escopo, a etapa seguinte é a de elaboração do inventário do ciclo de vida, que tem como função a coleta de dados e determinação dos procedimentos de cálculos que serão adotados.

Para coletar dados confiáveis muitas vezes a pessoa responsável pelo estudo, deve elaborar formulários, contendo a quantidade de matéria que entra e sai do sistema, a unidade em que essa matéria é expressa, a distância percorrida durante o transporte da matéria, as fontes energéticas, quantidade de perdas e também um fluxograma detalhado para todo o processo (CHEHEBE, 1998). Muitas vezes a coleta de dados não ocorre como planejado anteriormente no objetivo, então é necessário buscar outras fontes ou até mesmo redefinir o objetivo e escopo, por isso é considerada uma fase fundamental para obtenção do resultado esperado (ABNT, 2009a, 2009b).

3.5.3 Etapa 3 – Avaliação do impacto do ciclo de vida.

A terceira parte do estudo consiste na interpretação dos resultados obtidos durante a realização do Inventário de Ciclo de Vida (ICV). Em geral esse processo envolve associar dados de inventário com categorias de impacto específicas e indicadores de categorias, tentando dessa forma entender tais impactos. Essa fase também fornece informações para a última fase do ciclo, que é a de interpretação (ABNT, 2009a).

Existe uma série de variáveis que devem ser checadas nessa etapa e diversos métodos de avaliação, aos quais variam de acordo com os dados obtidos. É preciso que haja transparência e coerência na divulgação dos dados, considerando cada elemento analisado como único e seu peso diferenciado no sistema. Recomenda-se que durante o processo de avaliação, sejam definidas categorias para os resultados obtidos, conforme a característica de cada variável e o impacto gerado por ela. O nível de detalhamento da avaliação, os impactos levados em consideração e o método utilizado, estão relacionados com o objetivo do estudo.

Não existem metodologias amplamente aceitas para correlacionar de forma consistente e acurada dados de inventário com impactos ambientais específicos.

Existe também uma seleção de impactos ambientais, indicados pela European Environment Agency (EEA) citados por Piotto (2003)

que auxiliam na seleção de categorias impactos, indicadores e modelos. As principais categorias indicadas são:

- Impactos devido ao uso de recursos abióticos – Matérias que são extraídas da natureza para serem usados como insumos ou matéria-prima para fabricação de produtos.
- Impacto devido ao uso de recursos bióticos – Recursos retirados ou extraídos da natureza, mais precisamente da fauna ou flora.
- Impacto pelo uso de solo - Refere-se á utilização do solo relacionada com o estudo em questão (áreas produtivas, parque industrial, disposição de resíduos, etc.).
- Efeito estufa – Efeito que promove o aquecimento da terra devido a emissão desenfreada de gases (CO_2 , CH_4 , CO , NO_x , etc), na atmosfera causando possíveis mudanças climáticas.
- Redução da camada de ozônio - Diminuição da camada de ozônio na estratosfera devido ao lançamento de gases, CFCs, tendo como consequência danos aos humanos e ecossistemas.
- Impactos toxicológicos aos seres humanos – Categoria considerada complexa, uma vez que os efeitos dependem das características químicas e bioquímicas dos elementos, das condições intrínsecas de cada indivíduo, da presença de outras substâncias que potencializam ou retardam o seu efeito, da dose, da forma e do tempo de exposição. Os efeitos nos humanos podem ser: Agudos, Mutagênicos, Carcinogênicos, Neurotóxicos.
- Acidificação – Refere-se à disposição da chuva ácida em solos e águas, que ocorre devido à conversão das emissões de óxidos de enxofre e de nitrogênio na atmosfera a ácidos sulfúrico e nítrico, respectivamente. Pode ser avaliado pelo potencial de acidificação, medido em equivalentes de SO_x .
- Impactos decorrentes de atividades produtivas- Refere-se aos impactos toxicológicos em humanos associados às condições de trabalho.

3.5.4 Etapa 4 – Interpretação do ciclo de vida

A última etapa da metodologia de ACV consiste em interpretar os dados obtidos durante o ICV e a AICV, realizando um levantamento dos resultados alcançados e dos critérios utilizados ao longo da avaliação. A fase de definição de objetivos e escopo compõe a parte de estudos teórico do processo, enquanto as fases de inventário e de avaliação de

inventário do ciclo de vida produzem informações sobre o sistema do produto em análise.

De acordo com a ABNT (2009b), a interpretação do ciclo de vida é um procedimento iterativo e sistemático que tem como objetivo: identificar, qualificar, verificar, analisar os resultados, chegar a conclusões, esclarecer limitações, sugerir recomendações baseadas nas descobertas das fases precedentes do estudo ACV ou ICV e relatar os resultados da interpretação do ciclo de vida de um modo transparente em ordem a encontrar os requisitos da aplicação como descrito nos objetivos e âmbito do estudo.

Cada etapa do ciclo deve ser checada, para garantir a credibilidade do estudo e minimização das incertezas. Dados que geraram incertezas também são levados em consideração, devido a variabilidade de informações e nem sempre a exata quantidade de entrada utilizada no sistema.

Para completar a interpretação é necessário, fazer um levantamento das questões significativas dos processos anteriores. Dados de inventário como, energia utilizada, emissões e resíduos, categorias de impactos como, mudanças climáticas, alteração da fauna e flora local, e determinação de outros processos elementares individuais envolvidos, como transporte.

4. METODOLOGIA

A metodologia proposta para este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi baseado nas normas da ABNT (2009a, 2009b), que divide a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) em quatro etapas: definição de objetivo e escopo, análise de inventário do ciclo de vida, avaliação de impactos ambientais e interpretação, as quais estão descritas a seguir.

4.1. Caracterização do Local de Estudo

Este trabalho foi realizado com apoio de uma Empresa de Papel e Celulose, localizada em SC, da BelPlas Comércio de Plásticos e Papelão Ltda do município de Gaspar, SC, e do Grupo de Pesquisa em Avaliação de Ciclo de Vida (CICLOG) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, situado em Florianópolis. A localização destas empresas e Instituições pode ser visualizada na (

Figura 7).

A coleta de dados para as informações referentes ao papel foi realizada pelo Grupo de Pesquisa em Avaliação de Ciclo de Vida (CICLOG) na Empresa de Papel e Celulose. Esta coleta compreendeu os principais processos de celulose e papel, desde a produção de matérias primas até o transporte do produto finalizado.

A coleta de dados referente ao plástico foi realizada na BelPlas Comércio de Plásticos e Papelão Ltda, em que algumas informações sobre a produção de sacolas plásticas foram fornecidas.

Figura 7. Localização dos municípios de Vargem Bonita (Empresa de Papel e Celulose), de Gaspar (BelPlas) e de Florianópolis (UFSC).



4.2. Definição do Sistema de Produto.

O sistema de produto foi definido com base em estudos já desenvolvidos no CICLOG para celulose e papel. Foram consideradas sacolas de papel em comparação com sacolas plásticas e os processos elementares envolvidos como a aquisição de matéria-prima até a fabricação destas. A escolha por esta comparação foi para verificar qual sistema de produto (Figura 8) apresenta melhor desempenho ambiental.

Figura 8. Exemplo de sistema de produto avaliado.

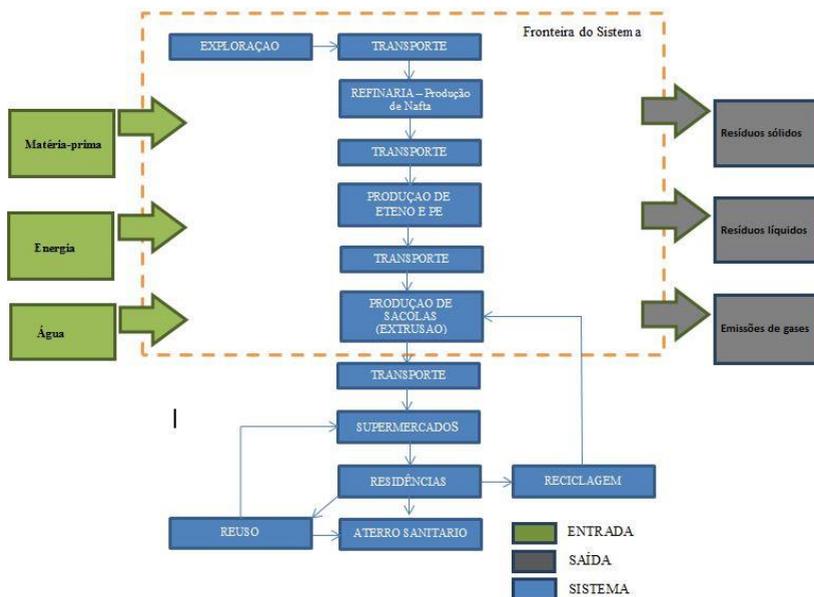


4.3. Definição da unidade funcional e fronteira do sistema

A função de um produto ou serviço está associado a unidade funcional, que para este estudo de TCC foi de 1000 unidades de sacolas de plástico/ papel, tendo como função transportar as compras do supermercado. A unidade funcional é para uma média de um ano de sacolas plásticas e de papel produzidas no Estado de Santa Catarina. A fronteira do sistema envolve: matéria-prima, transporte de material e produto, consumo de energia elétrica, consumo de água, geração de resíduos sólidos, líquidos e emissões gasosas, insumos químicos envolvidos nos processos (Figura 9).

O público alvo deste estudo é a população como um todo, bem como setores do governo e instituições públicas ou privadas.

Figura 9. Fronteira do sistema de produto: plástico.



Em relação aos dados da produção de papel, foi realizada uma análise dos dados previamente obtidos pelo CICLOG, sendo estes confidenciais e por esta razão serão apresentados apenas o resultado final referente a produção de sacolas de papel. O fluxograma desse processo pode ser visualizado na Figura 10.

energia elétrica e matéria prima, entre outros, utilizados na fabricação de sacolas plásticas, foram estimados com base no que foi repassado pela empresa.

Foi realizada uma visita a fábrica de sacolas plásticas, onde ocorreu a coleta das variáveis envolvidas no processo. A matéria prima a ser utilizada na pesquisa foi PEAD e PEBD, devido a variedade de sacolas que são derivadas dessa fonte. Segundo a Associação Brasileira da Indústria Plástica – ABIPLAST e o Instituto Sócio Ambiental do Plásticos - PLASTIVIDA as sacolas são confeccionadas com PEAD. Contudo, segundo a fábrica visitada e Engenheiros químicos questionados, o material é o PEBD ou uma mistura de ambos. Os dados utilizados para a produção de sacolas plásticas a partir de material **reciclado**, cedidos pela empresa foram:

- Matéria prima utilizada: Mistura de 50% PEAD e 50% PEBD;
- Consumo de água: 49 m³/dia;
- A confecção de 1000 sacolas utilizam aproximadamente 314,4 litros de água e que para 1 kg de sacola é utilizado 22,45 litros de água
- Peso por 1000 sacolas: 3 kg (Fonte: Fundação Espaço- Eco)

Para fazer a segunda comparação, agora entre PEAD virgem x papel, foram utilizados dados do Ecoivent, apenas alterando o peso das unidades, usando a mesma utilizada anteriormente.

- Peso 1000 sacolas de plástico: 3kg
- Peso 1000 sacolas de papel: 59kg

O estudo levou em consideração que as sacolas possuem o mesmo desempenho. Para realização da análise referente aos dados levantados, foi utilizado o software SimaPro® e a base de dados EcoInvent, para dados secundários. O Ecoinvent é um banco de dados em que é possível utilizar quando não há informações de determinado produto para a região estudada. No entanto, a base de dados do EcoInvent baseia-se em estudos Europeus e ao utilizá-los estamos assumindo a variabilidade existente entre os países. O que não mostra adequadamente a realidade de situações no Brasil, por exemplo.

O software SimaPro® é uma ferramenta profissional utilizada para coletar, analisar e monitorar a performance ambiental de produtos e serviços. Com o auxílio desse software, foi possível fazer simulações e

analisar complexos ciclos de vida, de acordo com as recomendações da ABNT (2009a, 2009b).

4.6. Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV)

A fase de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) é a terceira fase da ACV. A AICV inclui a coleta de resultados dos indicadores para as diferentes categorias de impacto, que em conjunto representam o perfil de AICV para o sistema de produto (ABNT, 2009b).

Para atingir o objetivo desta etapa, foi utilizado o método ReCiPe e as categorias de impacto ambiental avaliadas foram: aquecimento global, acidificação, eutrofização, toxicidade humana, ocupação de terra. A escolha deste método e das categorias de impacto decorre por serem as mais utilizadas neste momento em estudos da cadeia produtiva de papel e plástico.

O objetivo primário desse método é transformar a longa lista de resultados do inventário de ciclo de vida, em um número limitado de indicadores. Nesse método os indicadores são determinados em 2 níveis: 18 indicadores midpoints e 3 indicadores endpoint. O ReCiPe utiliza um mecanismo ambiental baseado em uma série de efeitos que em conjunto podem criar um certo nível de danos, por exemplo, ecossistemas ou saúde humana (GOEDKOOPE et. al., 2009).

4.7 Interpretação

A interpretação do ciclo de vida é a fase final do procedimento de ACV, na qual os resultados de um ICV e/ou AICV ou de ambos, são sumarizados e discutidos como base para as conclusões, recomendações e tomada de decisão de acordo com a definição do objetivo e escopo (ABNT, 2009b). É nesta fase que a interpretação dos resultados obtidos, identificação dos impactos gerados pela utilização de sacolas plásticas e de papel no meio ambiente serão discutidos. E também onde serão identificadas as etapas do sistema que possui um baixo desempenho ambiental, apontando qual tipo de material é menos prejudicial ecologicamente, além de servir como base para futuros estudos.

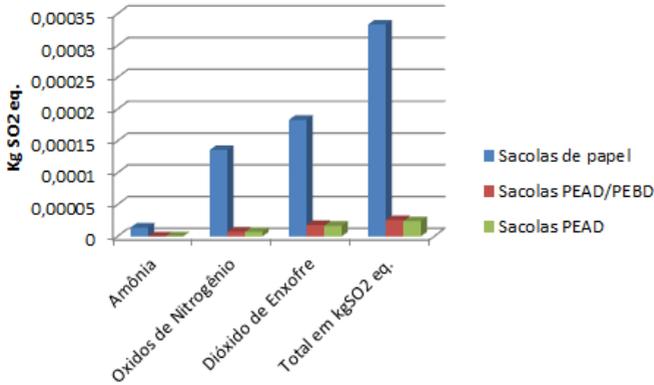
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este estudo foi realizado com o intuito de apontar qual processo de fabricação de sacolas, plástico ou de papel, é menos impactante para o meio ambiente apresentando melhor desempenho ambiental. A ACV se mostrou uma ferramenta útil para esse tipo de comparação, apontando um resultado plausível quando comparado com referências previamente estudadas.

No Brasil, a Fundação Espaço-Eco, também realizou um estudo sobre o uso de sacolas plásticas em supermercados brasileiros, levando em consideração diversos tipos de plásticos e categorias de impactos incluindo uso e ocupação do solo, toxicidade, acidificação e aquecimento global, assim como o presente trabalho. O estudo da Fundação Espaço-Eco apresentou um desempenho ambiental melhor para a sacola utilizada em supermercado de PEAD.

5.1 Acidificação

A sacola plástica composta por Polietileno de Alta Densidade (PEAD) apresentou melhor desempenho ambiental, seguida pelas sacolas compostas de Polietileno de Alta Densidade e Polietileno de Baixa Densidade reciclados (PEAD/PEBD) e por último a sacola de papel (Figura 10). As emissões que mais contribuíram para o total de acidificação no processo de produção de sacolas de papel foram o dióxido de enxofre, seguido do óxido nítrico e da amônia (Figura 11). O mesmo ocorre para as sacolas de PEAD/PEBD e de apenas PEAD, porém em quantidades bem inferiores as emissões das sacolas de papel.

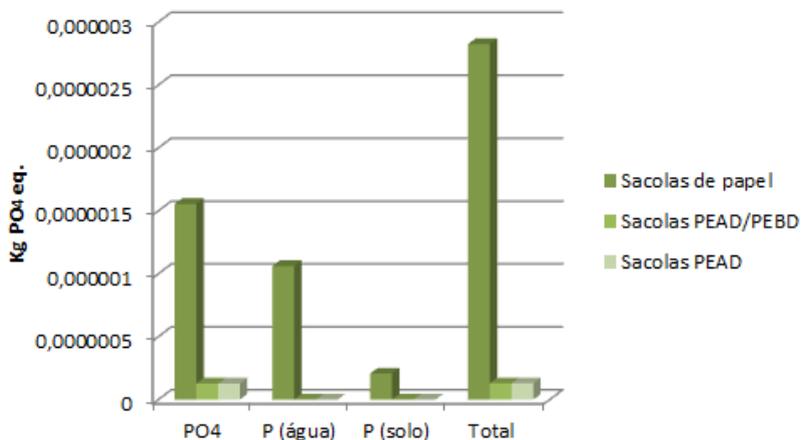
Figura 11. Potencial de Acidificação (Kg SO₂ equivalente).

Em estudos realizados no Reino Unido (EDWARDS; FRY, 2006), para a categoria de acidificação, os resultados foram diferentes dos encontrados para este estudo de TCC. De nove categorias analisadas no Reino Unido, somente a acidificação se mostrou favorável para o papel, quando comparado com o plástico. Isso talvez em decorrência da opção de ter adotado mesmo desempenho para as sacolas, pois no caso do estudo do Reino Unido foi considerado que a de papel carrega o dobro do volume da de PE. Em um estudo Sul Africano Sevitz et al. (2013), encontrou um potencial ligeiramente maior para a sacola de papel, quanto ao potencial de acidificação. O problema da acidificação foi relacionado à deposição de ácidos, ocasionando a diminuição do pH, a diminuição de minerais no solo e o aumento de concentração de partícula tóxicas.

5.2 Eutrofização

Quanto à categoria de Eutrofização (Figura 12) foi possível notar que a diferença de impacto entre sacolas plásticas e de papel foi significativa. A eutrofização ocasiona a degradação da qualidade da água devido ao excesso de nutrientes na mesma. Para os diferentes tipos de sacolas analisadas, a emissão de PO₄ foi a principal contribuinte para o potencial de eutrofização, seguido do P para água e posteriormente para o solo (Figura 12). Estudos realizados no Reino Unido, citado anteriormente, obtiveram resultados semelhantes ao encontrado nesse estudo.

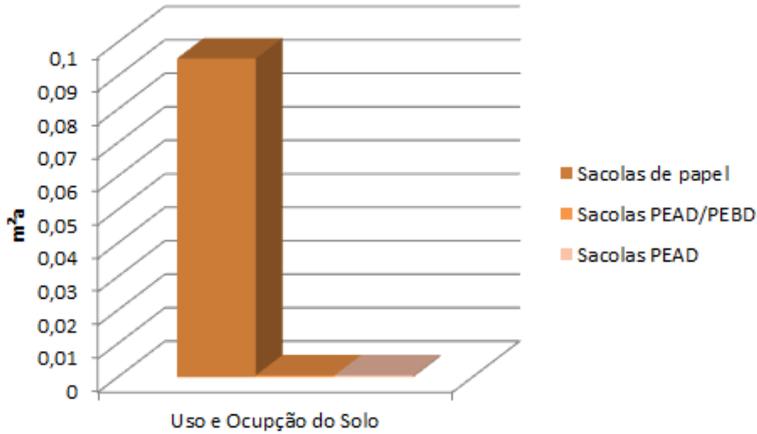
Figura 12. Potencial de Eutrofização (Kg PO₄ equivalente).



5.3 Uso e Ocupação do Solo

A comparação desta categoria foi realizada utilizando a soma de ocupação de área urbana e ocupação de área rural (Figura 13), resultando numa grande diferença entre a área ocupada, das sacolas de PE e de papel devido a baixa quantidade de área necessária para confeccionar o plástico. Esse resultado é relevante, uma vez que para produção de papel são necessárias extensas áreas de reflorestamento.

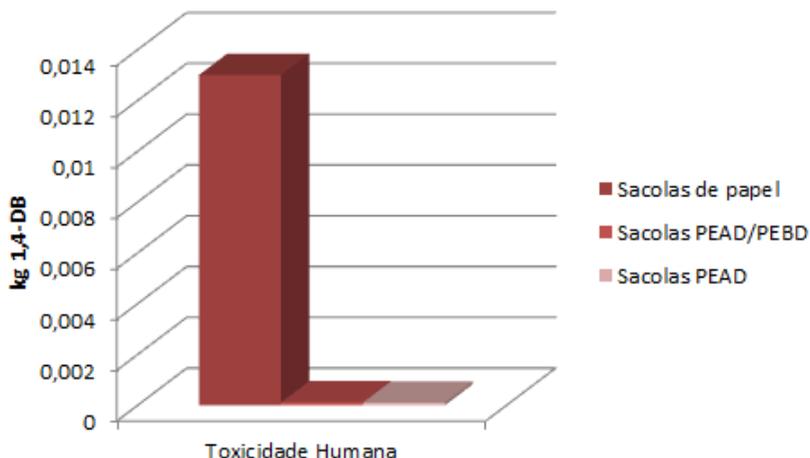
Figura 13. Potencial de uso e ocupação do solo (m²ano).



5.4 Toxicidade Humana

A categoria de impacto, toxicidade humana expressa às substâncias com potencial de intoxicação e que são emitidas ao longo da cadeia produtiva. A unidade utilizada é: 1,4-diclorobenzeno ou 1,4 DB equivalente. Para esta categoria as sacolas de papel mostraram-se com o pior desempenho ambiental em relação às demais sacolas (Figura 14). Esse desempenho também foi semelhante em estudos desenvolvidos no Reino Unido (EDWARDS; FRY, 2006) e na África do Sul (SEVITZ et al., 2013).

Figura 14. Potencial de Toxicidade Humana (Kg 1,4 DB equivalente).

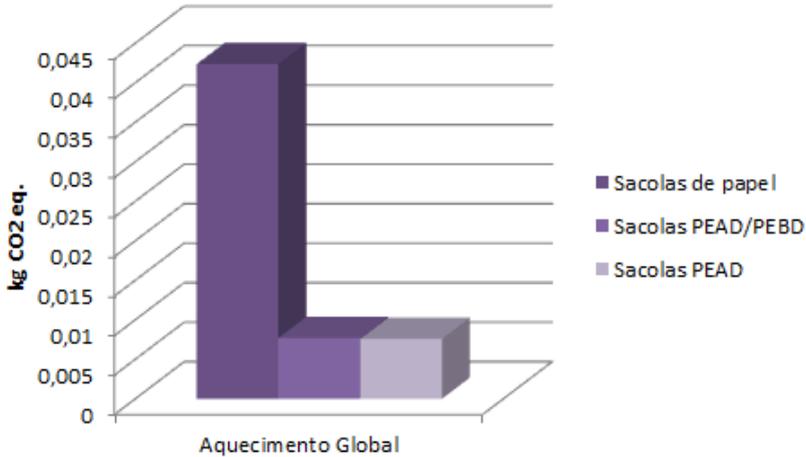


5.5 Aquecimento Global

Para a categoria de aquecimento global, ocasionado principalmente, neste estudo, por gases liberados durante a produção, a sacola de papel se mostrou mais impactante que a de plástico reciclado (Figura 15), na proporção de 5,5:1, quando comparada com a de PEAD virgem a proporção aumenta para 5,6:1. O que vai de encontro com os resultados encontrados em outros estudos, como o de Edwards e Fry (2006), Sevitz et al. (2013), Chaffee e Yeros, (2007).

Para as sacolas de papel, a principal matéria prima para produção é a madeira que por sua vez captura uma quantidade considerável de carbono (pelo processo de fotossíntese) à medida que as árvores crescem. No entanto, nessa comparação com a produção de sacolas de plástico, as sacolas de papel ainda apresentaram um desempenho ambiental inferior devido a produção da matéria prima e processo de cozimento.

Figura 15. Potencial de Aquecimento Global (Kg CO₂ equivalente).



5.6. Resultado Geral

Para todas as categorias de impactos ambientais avaliadas: ocupação do solo, eutrofização, acidificação, toxicidade humana e aquecimento global, as sacolas de papel apresentaram um desempenho ambiental inferior as demais sacolas (PEAD/PEBD e PEAD) (Figura 16).

Em estudo de caso com a ACV, realizado pelo Bousted & Associates Ltda. em 2007 nos Estados Unidos concluiu que as sacolas de polietileno possuem um impacto significativamente menor do que sacolas produzidas com até 30 % de papel reciclado e plástico compostável (biodegradável). O estudo apontou que a substituição das tradicionais sacolas de PE por sacolas feitas de plástico biodegradável ou papel reciclado, irá resultar em um significativo aumento de impacto ambiental em algumas categorias, incluindo aquecimento global e degradação dos recursos hídricos. Este estudo utilizou-se do próprio software desenvolvido pela Associação conhecida como “Bousted Model” juntamente com os dados provenientes da mesma.

Existem muitos mitos e falsos paradigmas na questão da sustentabilidade. Segundo o portal MEU MUNDO SUSTÁVEL (2013),

devido a utilização de produtos químicos, a fabricação de sacolas de papel polui 70 vezes mais o ar, e 50 vezes mais a água do que a produção de sacolas plásticas. Na hora de reciclar, o papel necessita de 98% a mais de energia, do que reciclar a mesma quantidade de plástico.

Figura 16. Categorias de impacto ambiental avaliadas.

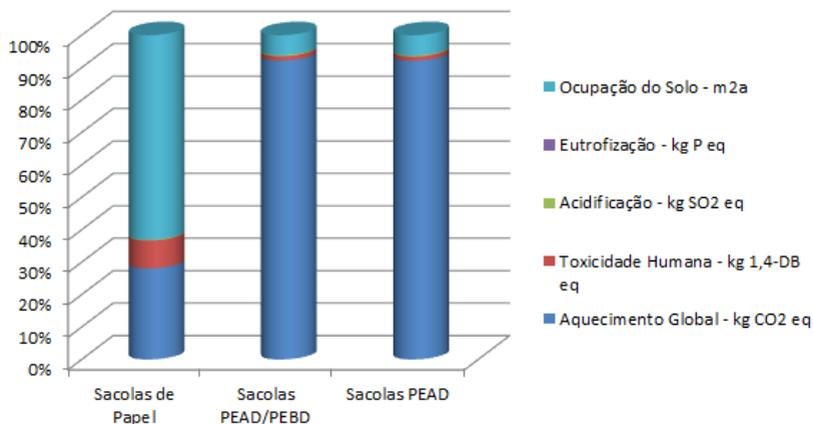


Tabela 1. Resultado das categorias de impacto ambiental avaliadas

Categoria de impacto	Sacolas de Papel	Sacolas PEAD/PEBD	Sacolas PEAD
Aquecimento Global - kg CO ₂ eq	0,0424	0,0077	0,0076
Toxicidade Humana - kg 1,4-DB eq	0,0130	0,0001	0,0001
Acidificação - kg SO ₂ eq	0,0003	2,56E ⁻⁰⁵	2,40E ⁻⁰⁵
Eutrofização - kg P eq	2,83E ⁻⁰⁶	1,29E ⁻⁰⁷	1,29E ⁻⁰⁷
Ocupação do Solo - m ² a	0,0951	0,0005	0,0005
Total	0,1508	0,0083	0,0082

6.0 CONCLUSÃO

O estudo conclui que as sacolas de PEAD virgem, no geral, possuem um desempenho ambiental, ligeiramente melhor do que o processo de fabricação de sacolas plásticas feitas de material reciclado, devido a alta quantidade de água utilizada para lavar o plástico reciclado. Ambos os processos de fabricação se mostram mais eficientes do que o processo de fabricação da sacola de papel, na proporção **18:1** para plástico PEAD/PEBD reciclado e **18,4:1** para PEAD virgem. A obtenção desse resultado é dada devido ao peso leve que as sacolas de PE possuem quando comparadas com as de papel. Além disso, ocupam muito menos área terrestre, utilizam menos água (quando a matéria prima não é reciclada), menos insumos químicos e podem ser transportadas em uma quantidade muito maior, ocupando um volume menos. O Estudo não levou em consideração a disposição final, devido as infinitas possibilidades de uso e reuso das sacolas. Os dados de transporte foram considerados na fonte da pesquisa, por falta de dados ou dados imprecisos.

Apesar do foco dessa monografia não ser apontar soluções, seria inadequado não expor uma alternativa para o consumo de sacolas plásticas. Existem medidas que podem ser adotadas com o intuito de minimizar a utilização de sacolas, independente da matéria prima que as constitui. Uma medida proposta seria a utilização de cestas de plástico, as quais deveriam ser adquiridas pelo consumidor e assim devendo ser utilizada sempre que forem ao mercado. Outra possibilidade é o reuso das sacolas que possuímos quantas vezes for possível, utilizando o produto ao máximo. Evitar o uso de sacolas em pequenas compras também pode minimizar os impactos ambientais. Ações preventivas bem aplicadas tendem a equilibrar a demanda por recursos naturais, preservando o planeta para as futuras gerações. Mantenha sua sacola no carro ou escritório.

Portanto o melhor a ser feito, é reduzir drasticamente o consumo de qualquer tipo dos materiais e optar pelos materiais menos agressivos, pois todos os produtos geram um tipo de impacto.

O estudo não pode ser usado como base concreta para indústrias, devido a incerteza dos dados referentes aos processos da produção de plásticos, diferente dos dados utilizados para confeccionar o papel. Portanto, os resultados deste estudo devem ser vistos com precaução.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ-CHÁVEZ, C. R.; EDWARDS, S.; MOURE-ERASO, R.; GEISER, K. **Sustainability of bio-based plastics: general comparative analysis and recommendations for improvement.** Journal of Cleaner Production, 23: 47-56p., 2012.
- AMARAL, K., J. do. **Uso de água em indústria de papel e celulose sob a ótica da gestão de recursos hídricos.** Universidade Federal do Rio de Janeiro ,Rio de Janeiro – RJ. Dissertação (dissertação). 58p., 2008.
- APACHE EMBALAGENS (SP). **O Processo.** Disponível em: <http://www.apacheembalagens.com.br/crbst_7.html>. Acesso em: 01 jun. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO - ABIPLAST (São Paulo- SP- Brasil) (Org.). **Perfil Brazilian plastic processed industry 2012.** Bristol, 2013. 120 p. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/site/estatisticas>>. Acesso em: 20 out. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PLÁSTICA – ABIPLAST.**Perfil 2012.** Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/>>. Acesso em: 10 out. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/index.php>>. Acesso em: 09 ago. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL - BRACELPA (São Paulo - SP) (Org.). **Celulose.** Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/180>>. Acesso em: 10 jun. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.**NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida: Princípios e Estrutura.** Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR ISO 14044: **Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida: Requisitos e Orientações**. Rio de Janeiro, 2009.

AYALON, O.; GOLDRACH, T.; ROSENTHAL, G., GROSSMAN, M. **Reduction of Plastic carrier bag use: An analysis of alternatives in Israel**. Waste Management. p. 2025-2032. 2009.

BORDADO, J. C. M.; GOMES, J. F. P. **Emission and odour control in Kraft pulp mills**. Journal of Cleaner Production, p. 797-801. 2003.

BOUSTEAD CONSULTING E ASSOCIATES Ltda. **Life Cycle Assesment for Three Types of Groceries Bags - Recyclable Plastic; Compostable, Biodegradable Plastic; and Recycled, Recyclable Paper. 2007**. Disponível em: <<http://static.reuseit.com/PDFs/Boustead%20Associates.pdf>>. Acesso em: 09 ago. 2013

CASTRO, H. F. de. **Processos Químicos Industriais II: Papel e Celulose**. Lorena, 2009 (Apostila). Disponível em: <http://bizuando.com/material-apoio/processos-qi2/Apostila_4_Papel_e_Celulose_2009.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2013.

CHAFFEE, C.; YAROS, B. R. **Lyfe Cycle Assesment for Three Types of Grocery bags - Recyclabe Plastic; Compostable Biodegradable Plastic, Recyclable Paper**. Final Report, USA, 2007. Disponível em:<<http://static.reuseit.com/PDFs/Boustead%20Associates.pdf>>. Acesso em: 05 set.2013

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos: Ferramenta Gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; MARIA, L. C. de S. **Polietileno: Ciência e tecnologia, Vol 13, n°1.** Rio de Janeiro, 13 p., 2003.

EDWARDS, C.; FRY, J. M. **Life cycle assessment of supermarket carrier bags: a review of the bags**. Report (SC030148) Bristol – UK. 2006. p.120. Disponível em: <

agency.gov.uk/research/library/publications/129364.aspx>. Acesso em: 28 out. 2013.

FOELKEL, C. **Casca da Árvore do Eucalipto**. 2007. (Apostila).

Disponível em:

<http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_casca.pdf>.

Acesso em: 05 jun. 2013.

FRANKLIN ASSOCIATES (Kansas - USA). **The Council for Solid Waste Solutions. Resource and Environmental Profile Analysis of Polyethylene and Unbleached Paper Grocery Sacks**. Prairie Village: 15 p., 1990.

FUNDAÇÃO ESPAÇO-ECO. **Estudo de ecoeficiência de sacolas de supermercado**. Braskem . Disponível em: <

http://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/Download/Upload/SOAP_Estudo%20sacolas_FINAL%20WEBSITE_26.pdf>.

Acesso em: 09 Out. 2013.

GOEDKOOP M.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M.; SCHRYVER, A, D.; STRUIJS, J.; ZELM, R.V. **ReCiPe 2008 -A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level**. Ammersfort – NE. 126p. 2009.

HARRIS, A. T.; RIDDLESTONE, S.; BELL, Z.; HARTWELL, P. R.

Towards zero emission pulp and paper production: The Bioregional MiniMill. Journal of Cleaner Production. p. 1971-1979. 2008.

HOSPIDO, A., DAVIS, J., BERLIN, J., SONESSON, U. **A review of methodological issues affecting LCA of novel food products**. Int J Life Cycle Assess, 15, 44-52. 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS – IPT.

2012. Disponível em: < <http://www.ipt.br/noticia/468.htm> >. Acesso em: 10 out. 2013.

INSTITUTO SÓCIO-AMBIENTAL DOS PLÁSTICOS -

PLASTIVIDA (São Paulo- Sp- Brasil) (Org.). **Índice de Reciclagem Mecânica**. Disponível em:

<<http://www.plastivida.org.br/2009/Instituto.aspx>>. Acesso em: 30 out. 2013.

INSTITUTO SÓCIO-AMBIENTAL DOS PLÁSTICOS -

PLASTIVIDA (São Paulo- Brasil). **Sala de imprensa: Release**. São Paulo, 2013. Disponível em:

<http://www.plastivida.org.br/2009/Releases_079.aspx>. Acesso em: 04 abr. 2013.

LUZ, B. Estudo Ecoeficiência de Sacolas de Supermercado – Fundação Espaço-Eco. 2011. Disponível em: <

http://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/Download/Upload/SOAP_Estudo%20sacolas_FINAL%20WEBSITE_26.pdf#!>

Acesso em: 17 ago.2013

MENDES, A. As novas sacolas de papel reciclado da Natura. Costa Rica, 2005. Disponível em:

<http://www2.medioambiente.gov.ar/ciplycs/documentos/archivos/Arquivo_483.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2013.

MEU MUNDO SUSTENTÁVEL. Papel X Plástico. Disponível em:<

<http://meumundosustentavel.com/noticias/papel-x-plastico/>> Acesso em : 12 ago.2013.

MIELI, J. C. de A. Sistema de avaliação ambiental na indústria de celulose e papel. Ciências Florestais, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. Dissertação (dissertação). 2007.

MIRANDA, R. E. DOS S. DE. Impactos Ambientais decorrentes dos resíduos gerados na produção de papel e celulose. Curso de Engenharia Florestal, Seropédica – RJ. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). 23p. 2008.

MOSCA, A. A. O. Avaliação dos impactos ambientais de plantações de Eucalipto no cerrado com base na análise comparativa do ciclo hidrológico e da sustentabilidade da paisagem em duas bacias de segunda ordem. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP – SP. Dissertação (Mestrado). 226p. 2008.

NETO, H. H. P.; RANGEL, S. A.; SOBRINHA, M. A. C.; DELATORRE, A. B.; AGUIAR, C. DE J.; RODRIGUES, P. M.

Sacolas Plásticas: consumo inconsciente. Perspectivas Online – Ciências Biológicas e da Saúde, 3 (1), p.50-70, 2011.

OLIVA, F. L.; SOBRAL, M. C. TEIXEIRA, H. J.; HILDEBRAND E GRISI, C. C. DE; ALMEIDA, M. I. R. DE. **Desenvolvimento Sustentável: Análise das Relações Interorganizacionais a indústria de Celulose e Papel.** Ambiente e Sociedade, v.15, 71-92 p. 2012.

PIOTTO, Z. C. **Eco-eficiência na indústria de celulose-papel- Estudo de caso.** Engenharia Hidráulica, USP-SP. Tese (Doutorado). 50p. 2003.

SEVITZ, J.; BRENT, A.C.; FOURIE, A. B. **An environmental comparison of plastic and paper consumer carrier bags in South Africa: implications for the local manufacturing industry.** Journal of Industrial Engineering. South Africa, p. 67-82. 2013.

USEPA, **United States Environmental Protection Agency.** 2006
Disponível em: <
http://iaspub.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchandretrieve/termsandacronyms/search.do> . Acesso em: 5 de junho de 2013.

VENDITTI, R. A. **Life Cycle Analysis of Paper Products.** Raleigh – USA. 2005. 63 p. Disponível em:
<<http://www4.ncsu.edu/~richardv/documents/LCAPaper62012.pdf>>.
Acesso em: 10 out. 2013.

WALDMAN, M.; SCHNEIDER, D. **Guia Ecológico Doméstico.** São Paulo: Contexto, 174 p. 2000.

WILLIAMS, H.; WIKSTRÖM, F. **Environmental impact of packaging and food losses in a life cycle perspective: a comparative analysis of five food items.** Journal of Cleaner Production. p.43-48. 2011.