

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

ELAINE REGINA BRITO MAIA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NO BENEFICIAMENTO DE MALHA:
ESTUDO DE CASO EM UMA TINTURARIA NO ESTADO DO PARANÁ**

MARINGÁ – PR, BRASIL

2013

ELAINE REGINA BRITO MAIA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NO BENEFICIAMENTO DE MALHA:
ESTUDO DE CASO EM UMA TINTURARIA NO ESTADO DO PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Química, na área Desenvolvimento de Processo.

Orientador: Prof. Dr. Cid Marcos Gonçalves Andrade
Coorientador: Prof. Dr. Mauro A. da S. Sá Ravagnani

MARINGÁ – PR, BRASIL

Outubro de 2013.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

Maia, Elaine Regina Brito
M217a Avaliação do ciclo de vida no beneficiamento de malha: estudo
de caso em uma tinturaria no Estado do Paraná / Elaine Regina
Brito Maia. -- Maringá, 2013.
---f.: figs., tabs.

Orientador: Prof.º Dr.º Cid Marcos Gonçalves Andrade. Co-orientador:
Prof.º Dr.º Mauro A. da S. Sá Ravagnani

Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Química, 2013.

1. Impacto ambiental. 2. Beneficiamento de malha. 3. Avaliação ciclo de
vida. I. Gonçalves, Cid Marcos Andrade, orient. II. Ravagnani,
Mauro A. da S. Sá, Co orient. III. Universidade Estadual de
Maringá. III. Departamento de Engenharia Química. IV. Título.

CDD 21.ed.677

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

Esta é a versão final da Dissertação de Mestrado apresentada por Elaine Regina Brito Maia perante a Comissão Julgadora do Curso de Mestrado em Engenharia Química em 29 de outubro de 2013.

COMISSÃO JULGADORA



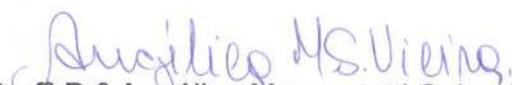
Prof. Dr. Cid Marcos Gonçalves Andrade
Orientador / Presidente



Prof. Dr. Mauro Antônio da Silva Sá Ravagnani
Coorientador



Profª Drª Gianini Regina Luz
Membro



Profª Drª Angélica Marquetotti Salcedo Vieira
Membro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, o criador de todas as coisas, a Ele toda a Honra e toda a Glória, sempre.

Ao meu esposo Edinelson, meus filhos Heitor e Maria Eduarda, minha mãe Iva, pelo incentivo, paciência, carinho e amor, que me ajudaram em todo o momento.

Ao professor e coorientador Mauro Antônio da Silva Sá Ravagnani e ao PEQ, por viabilizar a capacitação em curto período de todo o quadro docente do Departamento de Engenharia Têxtil.

Ao orientador, professor Cid Marcos Gonçalves Andrade, pela confiança, apoio, orientação e oportunidade de realizar este trabalho.

Aos Departamentos de Engenharia Química e Engenharia Têxtil pela ajuda e apoio técnico.

As alunas Chaline Evangelista e Nathuly El Raf dos cursos de Engenharia Têxtil e Engenharia de Produção, respectivamente, que colaboraram na coleta de dados para a realização deste estudo.

Ao Sr. Sidney A. de Oliveira, Sr. Paulo Sérgio da Cunha e José Amaro Alves Neto, pelo apoio técnico e informações, sem as quais não seria possível a pesquisa.

As amigas e companheiras de trabalho Amélia Masae Morita, Andréia Bortoluzzi da Silva, Priscila Pasti Barbosa e Patrícia Lopes da Silva, pelas informações, auxílio e apoio constante.

Ao Sr. Felipe Lion da empresa Pré-Consultants, pela liberação do Software por meio da Licença Faculty SimaPro.

Aos professores do Departamento de Engenharia Têxtil, que juntos participaram deste processo de capacitação coletiva, pelo companheirismo e amizade.

Ao meu primo e amigo Carlos Alberto de O. M. Junior e sua mãe Tia Cida, pelo apoio e auxílio nesta importante etapa.

À todos que contribuíram, direta ou indiretamente com esta pesquisa.

“E sabemos que todas as coisas contribuem juntamente para o bem daqueles que amam
a Deus, daqueles que são chamados segundo o seu propósito”.

ROMANOS 8:28

AValiação DO CICLO DE VIDA NO BENEFICIAMENTO DE MALHA: ESTUDO DE CASO EM UMA TINTURARIA NO ESTADO DO PARANÁ

AUTORA: ELAINE REGINA BRITO MAIA

ORIENTADOR: CID MARCOS GONÇALVES ANDRADE

Dissertação de mestrado; Programa de Pós-graduação em Engenharia Química; Universidade Estadual de Maringá; Av. Colombo, 5790, BL. E46 – 09; CEP:87020-900 Maringá – PR, Brasil, defendida em 29 de Outubro de 2013.

RESUMO

A avaliação do ciclo de vida é uma ferramenta que consiste em selecionar e avaliar as entradas e saídas dos processos, possibilitando a identificação dos impactos ambientais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. O presente trabalho apresenta a avaliação do ciclo de vida aplicado em uma indústria de beneficiamento têxtil, responsável pelo processo de tingimento e acabamento de malhas, localizada no noroeste do Paraná. O objetivo da pesquisa é caracterizar os potenciais impactos ambientais causados no processo de beneficiamento, quanto à utilização de recursos naturais, assim como os agentes poluidores emitidos por este processo. Para a efetivação da pesquisa foram coletados dados referentes ao período de um mês de produção do ano de 2013. Para a aplicação da avaliação do ciclo de vida, foi utilizado o *software* SimaPro®, versão 7.3.3. O método utilizado para análise do inventário foi RECIPE *midpoint* e as categorias analisadas foram: acidificação terrestre, mudança climática, ecotoxicidade marinha, esgotamento fóssil e toxicidade humana. Foram realizadas duas formas de avaliação de impacto, uma considerando o transporte dos produtos utilizados no beneficiamento e a outra sem considerar este fator. Os resultados obtidos em relação à primeira forma de avaliação demonstraram que o transporte rodoviário (sal), que considera a trajetória de entrega do sal, e o transporte rodoviário, responsável pela trajetória dos demais insumos utilizados no tingimento, foram os itens que proporcionaram maior impacto no processo de beneficiamento de malha, isto se deve a quantidade de emissões atmosféricas provenientes da queima do combustível

fóssil. Avaliando os impactos sem considerar o transporte, os resultados apontaram a utilização da madeira de cavaco como responsável pelos impactos nas categorias acidificação, toxicidade humana e ecotoxicidade marinha, na categoria esgotamento fóssil, o fator impactante foi a utilização dos produtos químicos e na categoria mudança climática, o maior fator de impacto foi a energia elétrica.

Palavras-chave: avaliação do ciclo de vida; malha; beneficiamento; impacto ambiental.

**LIFE CYCLE ASSESSMENT OF THE BENEFACATION OF KNITTED
FABRICS: A CASE STUDY IN A DYEHOUSE IN THE STATE OF PARANÁ**

AUTHOR: ELAINE REGINA BRITO MAIA
SUPERVISOR: CID MARCO GONÇALVES ANDRADE

Master Thesis; Chemical Engineering Graduate Program; State University of Maringá; Av.Colombo, 5790, BL. E46 – 09; CEP: 87020-900 – Maringá – PR, Brazil, presented in 2013.

ABSTRACT

A life cycle assessment is a tool that consists of selecting and evaluating the inputs and outputs of the processes, enabling the identification of the environmental impacts of a product system throughout its life cycle. This paper presents the evaluation of the life cycle applied to a textile benefaction industry, responsible for the process of dyeing and finishing of knitted fabrics, located in the northwest of Paraná. The goal of this paper is to characterize the potential environmental impacts in the benefaction process related to the use of natural resources, as well as the pollutants emitted by this process. For effective research, data were collected regarding the production of a month of the year 2013. For the application of life cycle assessment was used SimaPro ® software, version 7.3.3. The method used to analyze the register was RECIPE midpoint and the categories which were analyzed were terrestrial acidification, climate change, marine ecotoxicity, the depletion of fossil and human toxicity. Two forms of impact assessment were carried out: one, which considered the transport of the products used in the process of benefaction and another which did not consider this factor. The results regarding the first form of evaluation showed that the road transport, in which the delivery trajectory of salt is considered and the road transport, responsible for the trajectory of other inputs used in dyeing, were the items that provided greater impact on the process of benefaction of the knitted fabrics. This impact is due to the amount of atmospheric emissions from the burning of fossil fuel. Assessing the impacts without considering transport, the results showed the use of wood chips as responsible for the impacts in the

categories acidification, human toxicity and ecotoxicity marine. Concerning the depletion of fossil category, the factor that caused impact was the use of chemicals. As for the climate change category, the highest factor of impact was the electricity.

Keywords: life cycle assessment; knitted fabrics; benefaction; environmental impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cadeia têxtil simplificada.....	6
Figura 2 - Entradas e saídas do beneficiamento	8
Figura 3 – Representação da estrutura de malhas de trama.....	12
Figura 4 - Classificação dos corantes por aplicação.....	18
Figura 5 - Normas referentes a ACV.....	27
Figura 6 - Fases da ACV	32
Figura 7 - Fluxograma dos processos de beneficiamento	41
Figura 8 - Máquina de tingimento (esgotamento)	43
Figura 9 - Abridora de Malha.....	43
Figura 10 - Secador de Malha Tubular.....	45
Figura 11 – Calandra	46
Figura 12 - Fluxograma da Estação de Tratamento de Efluente	48
Figura 13 - Tela do <i>software</i> SimaPro.....	55
Figura 14 - Impactos ambientais no beneficiamento.....	57
Figura 15 - Impactos ambientais na Mudança Climática	58
Figura 16 - Impactos ambientais na categoria Toxicidade Humana	59
Figura 17 - Impactos ambientais na categoria Acidificação Terrestre	60
Figura 18 - Impacto ambiental na categoria Ecotoxicidade Marinha.....	61
Figura 19 - Impacto ambiental na categoria Esgotamento Fóssil.....	62
Figura 20 - Impactos ambientais no beneficiamento (sem transporte).....	63
Figura 21 - Impactos ambientais na categoria Acidificação Terrestre (sem transporte)	64
Figura 22 - Impactos ambientais na categoria Toxicidade Humana (sem transporte) ...	65
Figura 23 - Impactos ambientais na categoria Esgotamento Fóssil (sem transporte)	66
Figura 24 - Impactos ambientais na categoria Mudança Climática (sem transporte)	67
Figura 25 - Impactos ambientais na categoria Ecotoxicidade Marinha (sem transporte).....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção do beneficiamento de malhas	5
Tabela 2 - Impurezas do tecido de algodão cru	14
Tabela 3 - Recursos utilizados no beneficiamento de malhas	54

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCV	Associação Brasileira do Ciclo de Vida
ANN	Níveis de Nitrogênio da Água
AT	Acidificação Terrestre
CV	Viscose
CO	Algodão
CMC	Carboxi metil celulose
CEL	Celulósica
CA	Acetato
CT	Triacetato
CO ₂	Gás carbônico
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
GANAA	Grupo de Apoio à Normalização Ambiental
HT	<i>Hight Temperature</i>
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
PET	Tereftalato de polietileno
PVC	Policloreto de Vinil
PA	Poliamida
PP	Polipropileno
PES	Poliéster
PAC	Acrílico
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
NO ₂	Dióxidos de Nitrogênio
SO ₂	Dióxidos de Enxofre

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1	A INDÚSTRIA TÊXTIL	4
2.2	PROCESSO PRODUTIVO TÊXTIL	4
2.3	BENEFICIAMENTO DE FIBRAS	9
2.3.1	Algodão	9
2.3.2	Poliéster	10
2.4	FIANÇA.....	11
2.5	MALHARIA	12
2.6	BENEFICIAMENTO	13
2.6.1	Beneficiamento Primário.....	13
2.6.1.1	Chamuscagem	14
2.6.1.2	Desengomagem	15
2.6.1.3	Mercerização	15
2.6.1.4	Purga.....	15
2.6.1.5	Alvejamento	16
2.6.1.6	Termofixação	16
2.6.2	Beneficiamento Secundário.....	16
2.6.2.1	Corantes.....	17
2.6.2.2	Processos de Tingimento.....	20
2.6.3	Beneficiamento Terciário	22
2.7	CONFECÇÃO	22
2.8	TRANSPORTE.....	23
2.9	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)	23
2.9.1	Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil	25
2.9.1.1	Impactos Ambientais.....	28
2.9.2	Fases da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).....	32
2.9.2.1	Objetivo e Escopo	32
2.9.2.2	Análise de Inventário	33
2.9.2.3	Avaliação do Impacto.....	34

2.9.2.4	Interpretação.....	35
2.10	MÉTODOS DE ANÁLISE DE IMPACTO AMBIENTAL.....	35
2.10.1	RECIPE.....	35
3.	DETALHAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO.....	40
3.1	MALHA CRUA.....	42
3.2	TINGIMENTO.....	42
3.3	ABERTURA DA MALHA.....	43
3.4	AMACIAMENTO.....	44
3.5	SECAGEM.....	44
3.6	CALANDRAGEM.....	45
3.7	AMACIAMENTO/RAMAGEM.....	46
3.8	REVISÃO DA MALHA.....	47
3.9	EXPEDIÇÃO.....	47
3.10	CONTROLE DE QUALIDADE.....	47
3.11	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	47
4.	METODOLOGIA.....	50
4.1	COLETA DE DADOS E DEFINIÇÃO DO ESCOPO.....	50
4.2	ANÁLISE DO INVENTÁRIO.....	51
4.2.1	Elementos utilizados para cálculo do Desempenho Ambiental.....	51
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
5.1	AVALIAÇÕES DE IMPACTO.....	56
5.2	AVALIAÇÕES DE IMPACTO DESCONSIDERANDO O TRANSPORTE.....	62
6.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	69
7.	REFERÊNCIAS.....	70

1. INTRODUÇÃO

No decorrer de um longo período, a maior parte das indústrias utilizaram recursos naturais de forma desordenada buscando suprir suas necessidades. No entanto, o entendimento sobre a consciência ambiental vem aumentando, e conseqüentemente levando as indústrias a adotarem procedimentos diferenciados voltados à preservação dos recursos naturais.

A indústria têxtil, nesse contexto, assume posição relevante, visto que para a obtenção de seus produtos necessita elevada quantidade de água, energia elétrica, produtos químicos e queima de combustíveis para consolidação de seus processos.

A idéia de desenvolvimento sustentável em uma sociedade exige uma redução na dependência de combustíveis fósseis, fontes de energia e uma diminuição na quantidade de poluição descarregada para o ambiente.

O conhecimento sobre os fluxos de materiais e energia, e os impactos ambientais relacionados a cada etapa do processo, permitem às empresas desencadear ações com o intuito de reduzir ou eliminar impactos relacionados com os produtos e serviços existentes, agindo de forma preventiva frente às inovações (BARBIERI; CAJAZEIRA, 2009).

Algumas ações remediadoras aplicadas no final do processo, como estações de tratamento de efluentes e equipamentos de controle de emissões atmosféricas, estão cedendo espaço para técnicas preventivas e de minimização de resíduos. O planejamento adequado do processo permite uma redução no consumo de água, energia e insumos. Este conceito baseia-se em procedimentos que permitem a redução ou eliminação dos poluentes por meio de modificações nos processos como: equipamentos, tecnologias, substituição de insumos, treinamento, manutenção periódica, entre outros (UEDA, 2006).

De acordo com Manzini e Vezzoli (2008), a preocupação em relação aos problemas de ordem ambiental, tem sido responsável por novos comportamentos sociais que buscam produtos e serviços que minimizem o impacto gerado ao ambiente.

Sado, Silva e Morales (2009), afirmam que a conscientização sobre a importância da proteção ambiental relacionados a produtos manufaturados foi responsável pelo crescimento do interesse no desenvolvimento de métodos para melhor compreender e minimizar estes impactos. Uma das técnicas desenvolvidas com este propósito é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

A avaliação do ciclo de vida é um método utilizado para avaliar o impacto ambiental de bens e serviços, se trata de uma avaliação sistemática que permite quantificar os fluxos de energia e de materiais no ciclo de vida do produto. O ciclo é a história do produto que vai desde a fase de extração das matérias-primas, passando pela fase de produção, distribuição, consumo e uso, até sua transformação em lixo ou resíduo (GIANNETTI; ALMEIDA, 2006).

Ribeiro, Gianetti e Almeida (2003), afirmam que a relação atual que existe entre indústria e ambiente é insustentável, e deve ser modificada, não devendo ser mais realizadas avaliações fragmentadas de impactos ambientais decorrentes de produção industrial. A redução do consumo de matérias-primas, energia e rejeitos devem ser avaliadas constantemente.

Neste contexto, a ACV deve ser considerada como uma ferramenta importante que permite o aprimoramento do processo produtivo e dos produtos de uma empresa, por meio da identificação e avaliação das fases críticas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Considerando o exposto anteriormente o objetivo geral deste trabalho é identificar os impactos ambientais potenciais gerados em uma indústria de beneficiamento de malhas, utilizando a ferramenta da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para elaboração do inventário.

1.1.2 Específicos

Os objetivos específicos do trabalho foram:

- Descrever o fluxograma produtivo de beneficiamento de malha, considerados neste estudo;
- Levantar dados em uma indústria de tingimento e acabamento de malhas para elaboração do inventário;
- Incluir os dados obtidos no software SimaPro®, considerando as entradas e saídas dos recursos;

- Avaliar os impactos ambientais do processo de beneficiamento.
- Contribuir para a construção de um banco de dados brasileiro.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A INDÚSTRIA TÊXTIL

A Indústria Têxtil possui papel de grande importância em vários países, sendo um dos segmentos industriais com maior tradição e responsável por parte da economia dos países desenvolvidos (FORGIARINI, 2006).

A área têxtil pode ser considerada como uma das mais antigas do mundo, e assim como os demais setores industriais, por meio de uma série de descobertas e aperfeiçoamentos, evoluiu com velocidade significativa promovendo um amplo desenvolvimento neste segmento industrial.

As evoluções no processo produtivo são necessárias para que as indústrias continuem competitivas no mercado, no entanto é preciso que simultaneamente haja uma preocupação em relação aos impactos sociais, culturais, econômicos e ambientais, promovidos por estas unidades industriais.

O setor têxtil envolve os processos desde a obtenção da matéria-prima e sua transformação, distribuição e comercialização do produto final, sendo responsável pela satisfação do consumidor em relação a qualidade e quantidade, suprimindo suas necessidades e mantendo preços competitivos (ASSAD et al., 2010).

2.2 PROCESSO PRODUTIVO TÊXTIL

A cadeia têxtil brasileira participou com 5,5% da receita líquida da indústria de transformação em 2010, e em termos de pessoal ocupado a sua participação foi de 16,4% do emprego total da indústria de transformação nacional (IEMI, 2011).

Ainda segundo o IEMI (2011), existem cerca de 1200 empresas de beneficiamento têxtil e cerca de 2520 malharias e foram produzidas cerca de 638.460 toneladas de malhas, dentre as quais 336.043 toneladas de malhas de algodão e 102.019 toneladas de poliéster, sendo as fibras mais utilizadas na produção de malhas.

Os dados referente a produção de beneficiamento de malhas no Brasil podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1 - Produção do beneficiamento de malhas

<i>Tipos de fibras</i>	<i>Beneficiamento de Malhas (toneladas)</i>
Algodão/CO	325.646
Viscose/CV	99.760
Náilon/PA	66.968
Acrílico/PAC	16.559
Poliéster/PES	109.432
Polipropileno/PP	1.088
La/WO	197

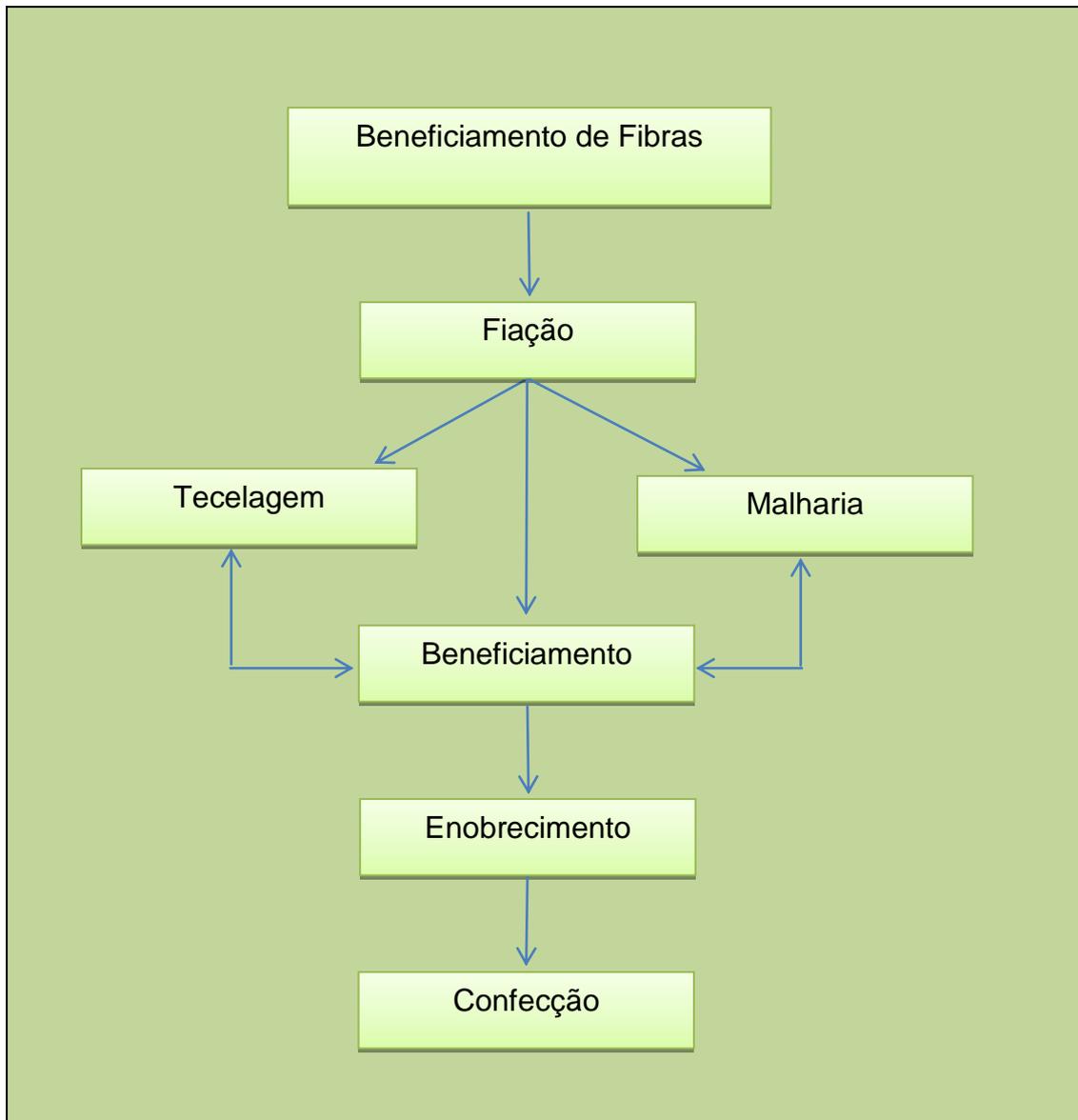
Fonte: IEMI (2011).

A cadeia têxtil é bastante ampla e, de forma geral, inicia seu processo com a obtenção da matéria-prima, podendo esta ser de origem natural, artificial ou sintética.

Na sequência da cadeia temos a fiação, onde as fibras ou filamentos serão transformados em fios. Este material pode ser encaminhado para o setor de tingimento de fios, tecelagem ou malharia. Na tecelagem, os tecidos são produzidos a partir do entrelaçamento de fios de trama e urdume. Na malharia, os fios são inseridos nos teares e obtém-se os artigos de malha. Existe ainda a possibilidade de antes de ir para a tecelagem ou malharia, o fio ser direcionado para o setor de tingimento de fios, dando origem a artigos produzidos com fios tintos. No setor de beneficiamento, os artigos que estão no seu estado cru são submetidos ao processo de tingimento e posterior acabamento, dando ao artigo características específicas como cor, maciez, largura, entre outros. Na etapa de confecção/acabamento, o artigo é fabricado conforme sua aplicação, podendo esta ser voltada ao uso do vestuário, assim como artigos de cama, mesa, banho, artigos técnicos, entre outros.

A Figura 1 mostra um esquema simplificado da cadeia têxtil.

Figura 1 – Cadeia têxtil simplificada



Fonte: Adaptado do SINDITÊXTIL (2011).

De acordo com a figura apresentada, a fabricação de um produto têxtil abrange várias etapas, desde a extração da matéria-prima até o acabamento, estes processos reproduzem parte dos impactos ambientais globais, pelo fato de serem grandes consumidores de energia elétrica, água e produtos químicos.

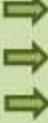
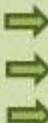
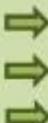
As indústrias têxteis têm buscado cada vez mais a redução da poluição do processo industrial em cada etapa da cadeia produtiva, adotando tecnologias e procedimentos que possibilitem a recuperação de produtos e subprodutos e a reutilização das águas utilizadas nos processos (FREITAS, 2002).

Na década de 90, o principal foco do controle ambiental deixa de ser os poluentes gerados ao fim dos processos produtivos e passam a ser considerados os resultados de ineficiências dos processos ou de seu planejamento inadequado (GIANNETTI; ALMEIDA, 2006).

Conforme Bastian (2009), na entrada do sistema no processo de fiação existe a necessidade do consumo de energia elétrica, utilização de óleos de engomagem, ar comprimido e fluido térmico. No processo de tecimento (malha), é necessário empregar energia elétrica, ar comprimido, óleos lubrificantes e ar interno para o sistema de climatização. Para a produção de tecidos planos, devido a necessidade de engomagem antes do tecimento, além da energia elétrica, ar comprimido e vapor, há utilização de água e produtos químicos para a engomagem. De forma geral, no beneficiamento dos artigos têxteis poderão ser utilizados vários insumos, sendo estes: energia elétrica, vapor, água, ar comprimido, óleo térmico, gás natural ou GLP, álcalis, uréias, tensoativos, agentes complexantes, igualizantes, entre outros.

As entradas e saídas correspondentes ao processo de beneficiamento podem ser visualizadas na Figura 2.

Figura 2 - Entradas e saídas do beneficiamento

Entrada no Sistema		Processo		Saída no Sistema
<ul style="list-style-type: none"> - energia elétrica; - vapores; - água (operação de purga, lavagem do material têxtil e lavagem dos equipamentos); - produtos químicos: álcali, tensoativos, agentes complexantes, etc. 		Purga / Limpeza		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Poluição do Ar: - emissões atmosféricas (calor / vapores emitidos). ✓ Poluição do solo: - geração de resíduos (fibras retiradas do material têxtil, durante as operações de purga e lavagem). ✓ Poluição da Água: - geração de afluentes líquidos (banho residual de purga e águas de lavagem proveniente da lavagem do material têxtil e de equipamentos).
<ul style="list-style-type: none"> - energia elétrica; - vapor; - água (operações de alvejamento, lavagem de equipamentos); - oxidantes (peróxidos de hidrogênio, hipoclorito de sódio, clorito de sódio etc.), álcalis, ácidos, redutores (hidrossulfito de sódio, metabisulfito de sódio, dióxido de tio-uréia), agentes complexantes, sais (silicato de sódio, cloreto de magnésio, nitrato de sódio, etc.) e tensoativos. 		Alvejamento		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Poluição do Ar: - emissões atmosféricas (Cloro-Cl e calor/vapores). ✓ Poluição do solo: - geração de resíduos (fibras retiradas do material têxtil, durante as operações de alvejamento e lavagem). ✓ Poluição da Água: - geração de afluentes líquidos (banho residual de alvejamento e águas de lavagem proveniente da lavagem do material têxtil e de equipamentos).
<ul style="list-style-type: none"> - energia elétrica; - vapor; - água (operações de amaciamento); - derivados de ácidos graxos, polisiloxanos, polietileno, etc. 		Amaciamento		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Poluição do Ar: - emissões atmosféricas (calor). ✓ Poluição do solo: - geração de resíduos (banho de acabamento). ✓ Poluição da Água: - geração de afluentes líquidos (descarte do banho).
<ul style="list-style-type: none"> - energia elétrica; - gás natural ou GLP (equipamento rama) e/ou vapor, óleo térmico. 		Secagem		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Poluição do Ar: - emissões atmosféricas (calor – através da troca de calos gases e vapores – resíduo de substâncias químicas presentes no material têxtil, volatilizados em alta temperatura); - emissões atmosféricas (compostos orgânicos voláteis – COVs / VOC's).
<ul style="list-style-type: none"> - energia elétrica; - vapor, óleo térmico; - água (umedecimento do material, antes do encolhimento e montagem do manchão). 		Compactação		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Poluição do Ar: - emissões atmosféricas (calor – através da troca de calor). ✓ Poluição da Água: - geração de afluentes líquidos.
<ul style="list-style-type: none"> - energia elétrica; - vapor, óleo térmico. 		Calandragem		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Poluição do Ar: - emissões atmosféricas (calor – através da troca de calor). ✓ Poluição do solo: - geração de resíduos (óleo térmico).

Fonte: Adaptado de Bastian (2009).

O setor têxtil apresenta diversos ramos de atividades, constitui-se de um complexo industrial desde o beneficiamento de fibras (naturais) ou fabricação de fibras (químicas) até a produção de diversos produtos como: fios, tecidos de malha, tecidos planos, entre outros (RIBEIRO, 1984).

2.3 BENEFICIAMENTO DE FIBRAS

As fibras têxteis são classificadas segundo a norma ABNT NBR 12744 – Fibras Têxteis, e dividem-se em fibras naturais e manufaturadas. As fibras naturais podem ser de origem vegetal, animal e mineral, as fibras manufaturadas (químicas) podem ser artificiais ou sintéticas (ABINT, 2003).

São conhecidas como fibra têxtil, qualquer matéria ou produto que pode ser transformado em um artigo têxtil, podendo ser fio, tecido, malha, entre outros (SALEM; DE MARCHI; MENEZES, 2005).

As fibras têxteis são caracterizadas por seu comprimento, largura ou diâmetro, resistência à tração e abrasão, alongamento, elasticidade entre outras, sendo considerada fibra todos os materiais que poderiam ser utilizados para fins têxteis (AGUIAR NETO, 1996).

De acordo com Ribeiro (1984), algumas propriedades das fibras, as possibilitam serem transformadas em fios, como: flexibilidade, finura e elevada proporção entre o comprimento e finura.

2.3.1 Algodão

De acordo com Aguiar Neto (1996), os arqueólogos têm contribuído com informações a respeito das primeiras utilizações desta fibra, no entanto sua origem ainda é considerada desconhecida. Existem indicativos que o algodão teve origem no Egito, aproximadamente no ano 12.000 a.C.

Ainda segundo o mesmo autor, por muito tempo a maioria das pessoas acreditavam que o produto teve sua origem no Velho Mundo, e que havia sido introduzido pelos exploradores, atualmente cientistas possuem indícios de que os indígenas da América do Norte e do Sul, da Ásia e África já utilizavam esta fibra para a produção de fios e tecidos.

O algodão é constituído por um revestimento piloso do fruto do algodoeiro (GOSSYPIMUM). Esta planta tem cerca de 1,20 m de altura, podendo ser cultivada anualmente, após a floração e maturação ela liberta um tufo de fibras brancas que podem ser colhidas à mão ou com auxílio de máquinas (ARAÚJO; CASTRO, 1984a).

O algodão é uma das mais importantes fibras têxteis, proveniente de semente vegetal, composta em grande parte de celulose (88 a 96%), contém pequenas porções de proteínas, pectinas, ceras, cinzas, ácidos orgânicos e pigmentos (RIBEIRO, 1984).

As fibras de algodão são formadas por cutícula externa, parede primária, parede secundária e um canal central conhecido como lúmen. A cutícula externa é uma membrana que encobre a fibra e possui cerca de 3% de fibrilas, a parede primária possui estrutura espiralada e formada por celulose impura, a parede secundária ou parede celular é formada somente por celulose, o lúmen apresenta largura e conformação variadas com presença de substâncias nitrogenadas que facilitam o desenvolvimento de fungos e bactérias (AGUIAR NETO, 1996).

Para qualificar o algodão, é necessário avaliar suas principais características, que são: comprimento da fibra, finura, maturação, resistência e grau de impurezas, para isto são utilizados equipamentos específicos que poderão quantificar os valores obtidos dos lotes de algodão (ARAÚJO; CASTRO, 1984a).

As propriedades da fibra do algodão aliadas a construção de artigos de malhas são consideradas por muitos como uma segunda pele, por possuir um alto grau de elasticidade e alongamento proporcionando conforto e toque agradável ao usuário (CHEREM, 2004).

2.3.2 Poliéster

A estrutura molecular linear do poliéster tornou-se conhecida na década de 40, quando *Carothers* obteve poliésteres alifáticos a partir de hidróxi-ácidos, como também do glicol e de ácido dicarboxílico, posteriormente descartou este tipo de poliéster devido ser suscetível à hidrólise e pelo baixo ponto de fusão. Em 1941, *John R. Whinfield* e *James T. Dickson*, em Manchester nos laboratórios da “Callico Printers Association” apresentaram os poliésteres obtidos a partir de ácidos aromáticos e glicóis como matéria-prima eficiente para a produção de fibras (AGUIAR NETO, 1996).

O Poliéster é composto por macromoléculas lineares cuja cadeia possui pelo menos 85% (em massa) de unidades de éster derivado de um diol e do ácido tereftálico. O etileno glicol e o ácido tereftálico são tratados por meio de calor e com adição de catalizadores, formando um álcool metílico que é destilado, o éster é pré-condensado nesta etapa, a policondensação é efetuada sob pressão reduzida com temperatura aproximada de 300°C, deixando o polímero suficientemente fluido para ser arrastado pela destilação. O polímero obtido no final da policondensação escorre sobre um tambor e é solidificado por jatos de água fria (ARAÚJO; CASTRO, 1984a).

Conforme Aguiar Neto (1996), o polímero bom para ser utilizado na área têxtil deve apresentar uma linearidade na direção longitudinal. Poliésteres são macromoléculas que apresentam a ligação éster em cada unidade repetitiva.

De acordo com Assis (2012), a fibra de poliéster pode ser utilizada pura ou em mistura com outras fibras, como: algodão, linho, viscose, entre outros, com proporções variadas, sendo então considerada a fibra química mais versátil. Sua empregabilidade resulta na fabricação de diversos tipos de artigos, tanto do segmento cama, mesa, vestuário, assim como para a produção de produtos do setor automobilístico.

Devido ao controle de qualidade no processo de fabricação e rigor nas especificações técnicas, o nível de qualidade das fibras sintéticas no Brasil é comparável ao do mercado internacional, sendo um fator de competitividade deste segmento. Em relação ao tipo de poliéster, destaca-se o denominado PET (tereftalato de polietileno), um polímero termoplástico muito utilizado neste setor, material proveniente da reciclagem, das garrafas de plástico ou de matéria-prima virgem (BASTIAN, 2009).

2.4 FIAÇÃO

É a sequência de operações responsáveis pela modificação dos diversos materiais fibrosos, sejam de origem natural, artificial ou química, até sua transformação em fio.

Os fios são materiais constituídos por fibras naturais ou químicas, que apresentam grande comprimento e elevada finura, formado mediante as diversas etapas de produção do fio. Os fios em geral, são utilizados para obtenção de tecidos, podendo ser artigos de malhas ou tecidos planos (RIBEIRO, 1984).

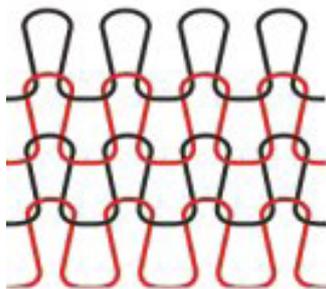
A etapa de fiação ocorre com a produção dos fios por meio de um processo em que o algodão em forma de pluma é penteado de maneira que as fibras fiquem desembaraçadas e paralelizadas para que possam receber torção e diminuir sua seção transversal. Na tecnologia de fiação pode-se ressaltar dois processos de formação do fio por serem os mais utilizados no Brasil: fiação com utilização de filatório convencional ou anel, e fiação open-end ou rotor.

2.5 MALHARIA

Os tecidos de malhas possuem grande aceitação no mercado devido sua praticidade e versatilidade, e podem ser produzidas a um custo relativamente pequeno. Na concepção e análise de produção de malhas, são usados constantemente, dois termos: coluna e carreira. As colunas se situam na direção do comprimento do tecido, e as carreiras cruzam o tecido transversalmente (MALUF; KOLBE, 2003).

Os artigos de malha por trama são obtidos por um único fio que faz evoluções em várias agulhas, formando uma carreira de sucessivas laçadas, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Representação da estrutura de malhas de trama



Fonte: Salem, De Marchi e Menezes (2005).

A malha é produzida em teares circulares, o fio utilizado neste sistema necessita de certa “lubrificação” que ocorre com a aplicação de óleos especiais (parafina) para redução do atrito entre o fio e o metal. Estes óleos são removidos no processo de limpeza da malha antes do tingimento utilizando detergentes e emulgadores específicos.

Os artigos de malhas proporcionam grande conforto ao usuário devido a sua elasticidade, são utilizados na fabricação de roupas informais, trajes esportivos, banho, roupas íntimas entre outros (SALEM; DE MARCHI; MENEZES, 2005).

De acordo com Cherem (2004), os consumidores buscam melhoria na performance técnica dos tecidos em relação a sua manutenção, visando menor tempo para lavar, secar e passar, além dos recursos necessários para esta conservação como água e energia, seguindo este posicionamento, o mercado de artigos sintéticos vem crescendo consideravelmente.

As contexturas mais comuns de serem encontradas na malharia circular são: meia malha, ribana, interlock, moleton e picket, as quais são utilizadas em vários tipos de segmento, sendo mais forte no vestuário na fabricação de camisetas, shorts, vestidos, pijamas, roupas íntimas, entre outros.

2.6 BENEFICIAMENTO

O beneficiamento têxtil consiste nas etapas de beneficiamento primário (preparação), beneficiamento secundário (tingimento) e beneficiamento terciário (acabamento), que podem ser de artigos de malha ou tecido plano.

Maluf e Kolbe (2003) afirmam que os processos de beneficiamento são inúmeros e podem ser divididos em três etapas: beneficiamento primário ou pré-tratamento, beneficiamento secundário e beneficiamentos terciário ou acabamentos.

Neste setor, os tecidos de malha ou tecidos planos são preparados para o tingimento visando a melhor eficiência do tingimento e do acabamento. Desta forma os artigos recebem tratamentos específicos de limpeza de acordo com a composição do material e processos que este foi submetido anteriormente (formação de fios e tecidos).

2.6.1 Beneficiamento Primário

O beneficiamento primário ou pré-tratamento, consiste na etapa inicial do processo de beneficiamento. Todos os substratos têxteis necessitam deste tratamento antes de seguirem para os processos posteriores, tingimento, estamparia ou acabamento.

Juliano e Pacheco (2008) ressaltam que este beneficiamento é o primeiro tratamento aplicado no material têxtil (fio ou tecido), e possuem como objetivo conseguir um produto final com melhor aceitação no mercado, as operações a serem efetuadas seguem uma sequência e devem ser preservadas para garantir um bom resultado no processo.

Esta etapa conhecida como purga ou fervura, pode ser considerada a base para obtenção de um tecido de boa qualidade, pois nela são eliminados os resíduos, sujeiras,

óleos e gomas adquiridos nos processos anteriores: obtenção da fibra, fiação e tecelagem (SALEM; DE MARCHI; MENEZES, 2005).

Os principais tipos de impurezas que são removidos do algodão pelo processo de purga estão demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Impurezas do tecido de algodão cru

<i>Impurezas</i>	<i>Teores (%)</i>
Impurezas naturais: hemicelulose, pectinas, proteínas, ceras	8 – 12
Aplicadas ao fio: amido, acrilatos, PVC, CMC, aminas graxas, ceras de parafina	10 – 15

Fonte: Maluf e Kolbe (2005).

O beneficiamento primário adotado depende do tipo de composição do material, assim como das características específicas requisitadas ao processo.

De acordo com Salem, De Marchi e Menezes (2005), o beneficiamento primário ou pré-tratamento pode ser dividido em: Preparação do substrato crú, chamuscagem, desengomagem, mercerização, purga e alvejamento e termofixação. Estes processos realizados na primeira etapa do beneficiamento possuem como objetivo preparar o tecido para os processos posteriores (tingimento e acabamento).

Na preparação do substrato, o tecido é costurado de modo a formar as partidas de tingimento conforme capacidade do equipamento que será utilizado para tingi-lo. Após a costura o mesmo é passado em uma revisadeira com objetivo de observar possíveis irregularidades presente no lote de tecido.

2.6.1.1 Chamuscagem

O processo de chamuscagem tem como objetivo eliminar as fibrilas da superfície do material têxtil por meio de queima, visando uma superfície mais limpa e conseqüentemente uma melhor qualidade ao tecido (BASTIAN, 2009).

2.6.1.2 Desengomagem

A desengomagem é um processo que visa eliminar a goma aplicada anteriormente no processo de tecelagem. Os produtos químicos utilizados na engomagem do tecido precisam ser removidos após o tecimento para que as condições sejam satisfatórias para o tingimento, sendo assim são utilizados produtos auxiliares específicos para atuar na limpeza deste substrato têxtil (BARCELOS; FRIEDERICHS; GOULARTE, 2009).

2.6.1.3 Mercerização

O processo de mercerização consiste em tratar as fibras de celulose com solução de hidróxido de sódio concentrado a frio, podendo ser aplicada nos fios ou tecidos de algodão sob tensão. A solução alcalina é removida por lavagens e neutralizada com ácido acético ou clorídrico, que também é removido por enxágues. Este tratamento proporciona ao material, melhor afinidade aos corantes, maior brilho, índices maiores de resistência mecânica, absorção e encolhimento (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996; UEDA, 2006).

2.6.1.4 Purga

A purga tem como objetivo retirar as impurezas naturais do tecido ou fio, este procedimento ocorre a quente e inclui a adição de diversos produtos químicos, como álcalis, surfactantes e agentes auxiliares. Com a utilização deste método, a fibra se torna mais hidrófila, aumentando significativamente a eficiência dos processos posteriores: alvejamento e tingimento (ARAÚJO; CASTRO, 1984b).

De acordo com Salem, De Marchi e Menezes (2005), as impurezas contidas nos substratos têxteis podem ser de dois tipos: pré-existentes nas fibras em cru, como no caso das fibras naturais, ou sujidades agregadas aos substratos durante os processos de fiação, engomagem e tecelagem.

2.6.1.5 Alvejamento

O branqueamento ou alvejamento do algodão, é o processo utilizado para obter brancura no tecido, sendo realizado toda vez que se deseja um tecido com cores claras ou branco. Nesse processo são utilizados alvejantes químicos como hipoclorito de sódio, peróxido de hidrogênio, clorito de sódio ou hidrossulfito de sódio, a escolha dependerá do tipo de fibra e do equipamento utilizado (ALCANTARA; DALTIM, 1996).

2.6.1.6 Termofixação

A termofixação pode ser considerada um pré-tratamento do tecido, pois pode ser realizada antes do tingimento com o objetivo de proporcionar estabilidade dimensional ao artigo. Este processo é realizado somente em fibras sintéticas como poliéster e suas misturas e em artigos com elastano (RUSCHIONI; ALFIERI, 2010).

2.6.2 Beneficiamento Secundário

O beneficiamento secundário trata-se do processo de tingimento no qual são aplicados corantes ao material têxtil. Esta etapa tem como objetivo conferir cor aos materiais têxteis, para isto são utilizados corantes e alguns auxiliares, que possuem a finalidade de controlar esta etapa do processo com o objetivo de obter os melhores resultados em relação à qualidade do material (BASTIAN, 2009).

O tingimento é um processo de equilíbrio físico-químico, denominado difusão e sorção de moléculas de corantes ou íons. Este processo ocorre quando produtos auxiliares utilizados na dispersão aquosa ocasionam a adsorção por parte da partícula do corante finamente dividido sobre uma das várias interfaces do sólido (ASSIS, 2012).

De acordo com Alcântara e Daltin (1996), no processo de tingimento devem ser consideradas três etapas: montagem, fixação e tratamento final. Na montagem, o corante é transferido da solução para a superfície da fibra podendo ser realizada por esgotamento ou impregnação, na etapa de fixação, ocorre a reação química do corante com a fibra e no tratamento final, o tecido é ensaboado e enxaguado para eliminar o

corante não fixado, evitando que o tecido solte corante quando for submetido a processos úmidos.

Em qualquer tipo de processo escolhido, será necessária a utilização de diversos produtos químicos além dos corantes e pigmentos, são eles: ácidos, álcalis, sais, oxidantes ou redutores, igualizantes, lubrificantes, anti-migrantes, sequestrantes, umectantes, dispersantes, fixadores entre outros (SALEM; DE MARCHI; MENEZES, 2005).

O processo de tingimento promove uma alteração físico-química do material de forma que a luz refletida provoque uma percepção de cor. Os produtos responsáveis por estas alterações são chamados de materiais corantes. Os corantes são compostos orgânicos com capacidade de colorir os substratos têxteis e manter a cor resistente a luz e a tratamentos úmidos (FERRARI, 2007).

2.6.2.1 Corantes

Os corantes são compostos de moléculas que compreendem dois componentes-chave: o funcional e o cromóforo. O grupo cromóforo é responsável pela cor e o grupo funcional, que se liga as fibras do tecido. Existem muitos tipos de corantes e estes podem ser classificados por sua natureza química ou em relação a sua aplicação ao tipo de fibra (SOARES, 1998).

O corante é um composto químico que pode ser fixado a um material qualquer, de forma mais ou menos permanente, produzindo na mente humana a sensação visual de uma cor, estes materiais podem ser divididos em corantes, os quais são solúveis no meio em que são aplicados, e em pigmentos, que são insolúveis no meio de aplicação (MALUF; KOLBE, 2003).

Os produtos auxiliares e os corantes aplicados no processo de tingimento são as principais matérias-primas utilizadas. A pesagem, dissolução e adição desses produtos químicos, normalmente são realizadas de forma automática, via sistemas que enviam os produtos para cada equipamento, garantindo maior controle das quantidades utilizadas no processo (MONTEIRO, 2008).

De acordo com Maluf (2003), existem vários tipos de corantes, e podem ser classificados da seguinte forma: corantes ácidos, corantes azóicos ou naftóis, corantes catiônicos, básicos ou citadinos, corantes diretos ou substantivos, corantes dispersos,

corantes reativos, corantes à tina ou à cuba, corantes ao enxofre ou sulfurosos e pigmentos.

Salem (2010) define o grau de aplicação de algumas classes de corantes em relação as fibras têxteis conforme demonstrado na Figura 4.

Figura 4 - Classificação dos corantes por aplicação

Corantes	Celulose	Lã	Seda	Acetato	Triacetato	Poliamida	Poliéster	Acrílico
Diretos	X	(X)	X	---	---	(X)	---	---
Reativos	X	(X)	X	---	---	(X)	---	---
Sulfurosos	X	---	---	---	---	---	---	---
Azóicos	X	---	---	---	---	---	---	---
A tina	X	---	---	---	---	---	---	---
Leuco ésteres	X	---	---	---	---	---	---	
Básicos	N	N	N	N	N	N	N	N
Catiônicos	---	---	---	---		---	---	X
Ácidos	---	X	X	---	---	---	---	---
Complexos Metálicos	---	X	X	---	---	---	X	---
Cromo	---	X	---	---	---	---	X	---
Dispersos	---	---	---			(X)	X	(X)
Pigmentos	X	---	---	---	---	---	---	---

Fonte: Salem (2010).

X = Aplicado

(X) = Sortimento limitado. Aplicado com restrições, quanto à solidez ou afinidade.

N = Não recomendado para têxteis (má solidez).

Conforme Souza (2006), as fibras têxteis é que comandam os mecanismos de fixação da molécula cromófora ao substrato e constituem o fundamento para a classificação dos corantes têxteis em categorias. Para cada tipo de fibra é exigido uma determinada classe de corante.

Neste contexto serão explanados os corantes diretos ou substantivos, dispersos e reativos, pelo fato de ser as classes de corantes utilizadas no processo de tingimento da empresa em estudo.

2.6.2.1.1 Corantes diretos ou substantivos

Os corantes diretos possuem esta denominação pelo fato de tingirem diretamente as fibras celulósicas, sem a necessidade da aplicação de mordentes. A maioria destes

corantes é composta por azo-sulfonado que se ioniza em meio aquoso, tendo como componente colorido ou cromóforo um ânion (MALUF; KOLBE, 2003).

Esta classe de corante caracteriza-se como compostos solúveis em água e com afinidade de tingimento das fibras celulósicas por meio de interações de Van der Waals, esta afinidade é aumentada com a adição de eletrólitos. A grande vantagem deste grupo de corantes é o alto grau de exaustão durante a aplicação e conseqüentemente diminuição da quantidade de corante presente nas águas de rejeito (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Existem várias formas de classificação para os corantes diretos, de acordo com a “*Society of Dyers and Colorists*” (Associação de Coloristas Ingleses), os corantes podem ser classificados da seguinte forma: corantes de boa igualização ou autorreguláveis, corantes de média igualização ou controláveis pelo sal e corantes de má igualização ou controláveis pela temperatura (ARAÚJO; CASTRO, 1984b).

De acordo com Bastian (2009), os corantes diretos apresentam a forma mais simplificada de tingir materiais celulósicos, são aplicados em banho neutro ou levemente alcalino, próximo ou no ponto de ebulição, sendo necessária adição de cloreto ou sulfato de sódio em quantidades e intervalos de tempo apropriados.

2.6.2.1.2 *Corantes Dispersos*

De acordo com Maluf e Kolbe (2003), esses corantes podem ser utilizados no tingimento de fibras de acetato, acrílico, aramida, modacrílica, olefinas, poliamidas, poli cloreto de vinilideno, poliéster e triacetato. Como estes corantes são os únicos que tingem homopolímeros de poliéster em processos convencionais, são utilizados principalmente para esta fibra.

Conforme abordado por Juliano e Pacheco (2008), esta classe de corante apresenta uma gama completa de tonalidades para a poliamida e para o poliéster, sendo utilizado no tingimento das fibras acrílicas para a obtenção dos tons pastéis.

Os corantes dispersos são não iônicos e quase sempre apresentam solubilidade baixa, necessitando de preparação específica para atingir uma dispersão estável, o procedimento pode ser com água contendo um agente de dispersão aniônico para diminuir o tamanho das partículas do corante, sendo comercializados na forma de pastas ou pós dispersíveis (MALUF; KOLBE, 2003).

A acessibilidade do corante disperso no tingimento das fibras de poliéster é muito complexa devido a sua estrutura cristalina. Sendo assim, podem ser utilizadas duas formas para solucionar este problema: utilização de agentes transportadores denominados “carriers”, que temporariamente dilatam espaços intermoleculares das fibras, ou aumentando a velocidade de difusão por meio do aumento da temperatura do tingimento (JULIANO; PACHECO, 2008).

2.6.2.1.3 *Corantes Reativos*

Lewis, Broadbent e Vo (2008) afirmam que a classe de corante reativo é a mais popular para o tingimento de algodão, devido a ampla gama de cores, procedimentos de aplicação flexíveis, tonalidades brilhantes e propriedades completas de cores sólidas no resultado do tingimentos.

São corantes que contém um grupo eletrofílico (reativo) com capacidade de formar ligações covalentes com os grupos hidroxila das fibras celulósicas, com grupos amino, hidroxila e tióis das fibras proteicas e grupo amino das poliamidas. Nesta classe de corante a reação química ocorre diretamente por meio da substituição do grupo nucleofílico pelo grupo hidroxila da celulose (GUARATINI; ZANONI, 2000).

2.6.2.2 Processos de Tingimento

Os artigos têxteis podem ser tintos em dois tipos de processos: contínuo e o descontínuo, dependendo do tipo de artigo e dos equipamentos disponíveis na indústria (SALEM, 2010).

Segundo Twardokus (2004), o processo de tingimento é uma das fases determinantes do sucesso comercial dos produtos têxteis, pois o consumidor exige algumas características básicas no produto, como: padronização da cor, elevado grau de solidez em relação à luz, lavagem e transpiração, tanto inicialmente quanto após uso prolongado.

2.6.2.2.1 *Processo Descontínuo (Esgotamento)*

No processo por esgotamento o corante é deslocado do banho para a fibra. O banho de tingimento é sempre várias vezes mais volumoso do que o peso do substrato. Vários fatores influenciam a boa igualização do tingimento por esgotamento, são estes: contato entre banho e substrato, velocidade de montagem e migração do corante (SALEM, 2010).

Neste processo o tecido fica longo tempo em contato com o banho de tingimento, a solução de corante entra em contato com o tecido que tem sua tensão superficial abaixada pela aplicação de tensoativos.

Em relação ao contato entre banho e substrato, existem três sistemas de circulação:

- material têxtil em movimento/banho parado
- material têxtil parado/ banho em movimento (circulando) e
- material têxtil e banho em movimento

A velocidade de montagem do corante na fibra depende de alguns fatores, que podem retardar ou acelerar esta montagem, são estes: temperatura/tempo, ácidos/álcali (pH), eletrólitos (sais), aceleradores e retardantes e relação de banho.

De acordo com Salem (2010), migração é a propriedade do corante permanecer na fibra durante a fase de equilíbrio em constante movimento, sendo específica para cada corante e também depende de influências externas como: temperatura, tempo, pH e agentes auxiliares.

2.6.2.2.2 *Processo Contínuo (Foulardagem)*

No processo por impregnação o corante entra na fibra com o auxílio de uma força mecânica, o tecido é pressionado por dois rolos após ter passado por um banho de corante (ALCANTARA; DALTIM, 1996).

No tingimento contínuo, a solução é aplicada por impregnação (*foulard*) sobre o material têxtil e espremida mecanicamente, na sequência o tingimento pode ser fixado por: calor seco, calor úmido, repouso a frio, repouso a quente ou banho novo (SALEM, 2010).

De acordo com Maluf; Kolbe (2003), o desempenho satisfatório do tingimento neste processo depende da aplicação uniforme da solução do corante para o tecido e da ação dos cilindros espremedores do *foulard*.

2.6.3 Beneficiamento Terciário

A fase de acabamento atribui aos artigos determinadas características, permitindo o atendimento das exigências dos clientes, sendo realizadas as seguintes operações: amaciamento, secagem e ramagem (BASTIAN, 2009).

O acabamento têxtil é caracterizado por vários processos que ocorrem no tecido já tinto ou estampado, tendo como objetivo melhorar o aspecto, toque e propriedades de uso do produto final, conforme o fim ao qual se destina (SALEM; DE MARCHI; MENEZES, 2005).

De acordo com Araújo e Castro (1984b), os acabamentos têxteis podem ser divididos em dois grandes grupos: acabamentos mecânicos e acabamentos químicos. Os acabamentos mecânicos são realizados por meio de ações mecânicas e sem produtos químicos, já o acabamento químico consiste na aplicação de produtos químicos que irão reagir com a fibra e atuar em suas propriedades. A divisão em químico e mecânico nem sempre ocorre na prática, pois na maioria dos processos eles são realizados simultaneamente.

2.7 CONFECÇÃO

A confecção de produtos têxteis é o setor responsável em transformar tecidos planos ou malhas em peças confeccionadas com o auxílio de técnicas e programas específicos para o encaixe de moldes, máquinas para enfiar e cortar o tecido. Após o corte do tecido, as peças talhadas seguem para o setor de costura, onde serão unidas por meio de agulhas e linhas em uma máquina de costura.

De acordo com Barreto (1997), a indústria de confecção pode ser dividida em setores como: criação e desenvolvimento de produtos, enfiar, corte, separação, estocagem e costura, e ressalta a necessidade de boa produtividade e qualidade em toda a linha de produção.

Segundo Bastian (2009), a técnica da costura tem como finalidade unir os diferentes componentes de uma peça de vestuário pela formação de uma costura que

pode utilizar técnicas mecânicas (costura), física (solda ou termofixação), ou química (por meio de resinas).

2.8 TRANSPORTE

Conforme Ciambrone (1997), praticamente todos os produtos fabricados tem uma fase de distribuição e transporte no seu ciclo de vida, as análises que não considerarem estas fases, são dadas como deficientes. O transporte é o movimento de energia ou materiais entre as operações em locais diferentes. Sendo assim, é importante considerar os meios de transporte utilizados, assim como a trajetória percorrida para abastecimento de materiais utilizados no processo.

2.9 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia utilizada para avaliar os aspectos ambientais que são associados ao ciclo de vida de um produto, tendo como uma de suas aplicações a análise da contribuição de todas as fases do ciclo de vida de um produto em relação à carga ambiental global, com objetivo de priorizar melhorias em processos e produtos (PRÉ CONSULTANTS, 2010).

De acordo com Jensen et al. (1997), a Avaliação do Ciclo de Vida é uma ferramenta de apoio à decisão, quando utilizado de maneira correta na concepção, fabricação ou utilização de um produto ou sistema, garantindo a empresa escolhas ambientalmente saudáveis. A ACV pode contribuir com descobertas importantes relacionadas a melhorias do produto e abordagens para o processo de otimização, ou seja, novas formas de satisfazer a mesma necessidade.

A Norma ISO 14040 (2001), descreve os princípios e a estrutura para se conduzir e explicar os estudos de ACV. Conforme essa norma, o ciclo de vida de um produto corresponde a todos os estágios sucessivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria prima à disposição final.

O SimaPro® foi desenvolvido pela empresa PRÉ Consultants em 1990, tem usuários em mais de 80 países e é o software mais utilizado para Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) em indústrias, consultorias e universidades. Considerada uma excelente ferramenta para coletar dados e analisar o desempenho ambiental em produtos e

serviços. Assim, para utilizá-los os dados deverão ser modelados e analisados de forma sistemática e transparente seguindo as recomendações da série ISO 14040.

A ACV é relativamente jovem e tornou-se popular no início dos anos noventa. Inicialmente muitos pensavam que a ACV serviria como ferramenta para apoiar as alegações ambientais utilizadas em marketing (PRÉ CONSULTANTS, 2010).

A Análise do Ciclo de Vida é uma técnica utilizada para avaliar os aspectos ambientais e os impactos potenciais relacionadas a um produto, considerando desde a retirada de matérias-primas utilizadas no processo produtivo (berço) à disposição final do produto (túmulo) (CHEHEBE, 1998).

A Avaliação do Ciclo de Vida pode auxiliar na melhoria do desempenho ambiental dos produtos, assim como dispor de informações para os tomadores de decisão em organizações governamentais ou não governamentais, viabilizando planejamento estratégico, definindo prioridades em relação a produtos ou processos, possibilitando a seleção de indicadores relevantes de desempenho ambiental (ISO 14044, 2006).

Os primeiros estudos sobre Análise do Ciclo de Vida de Produtos foram iniciados durante a primeira crise do petróleo buscando avaliar os processos produtivos e racionalizar o consumo de fontes energéticas esgotáveis, assim como buscar novas alternativas de energia.

Em 1965 a Coca-Cola custeou um estudo realizado pelo MRI (Midwest Research Institute) tendo como objetivo comparar os diferentes tipos de embalagem deste produto em relação aos índices de emissão para o meio ambiente, relatando assim o desempenho destes produtos em relação à preservação de recursos naturais. Esses índices gerados do processo de quantificação ficaram conhecidos como REPA (Resource And Environmental Profile Analysis). Posteriormente em 1974, esse modelo foi aprimorado pelo EPA (Environmental Protection Agency), sendo muitas vezes considerado como um marco do surgimento da Análise do Ciclo de Vida – ACV (Life Cycle Assessment) (CHEHEBE, 1998).

A avaliação do ciclo de vida possibilita avaliar o impacto do material têxtil, desde sua extração até o uso e descarte, um material pode ser apresentar menor impacto na fabricação e maior no uso, os resultados obtidos da análise de ACV podem considerar todo o ciclo, observando os recursos para obtenção do artigo, assim como os recursos utilizados para sua manutenção.

Steinberger *et al.* (2009) realizaram uma pesquisa comparando os impactos ambientais ocasionados para a produção de uma T-shirt (algodão) e uma jaqueta de poliéster, os dados obtidos e a aplicação da ACV possibilitou evidenciar os artigos e suas fases de maiores impactos.

Os estudos de ACV serão cada vez mais utilizados no setor têxtil visando a redução dos impactos ambientais e a melhoria nos processos, no entanto, devem ser preferencialmente realizados antes do desenvolvimento do produto com objetivo de otimizar os processos e conhecer os impactos de forma detalhada por meio da apresentação completa e transparente conforme descrita na serie ISO 14040 (ARDUIM; PACCA, 2010).

Segundo esses mesmos autores pesquisas sobre utilização da ACV na área têxtil ressaltam que a fase de uso dos produtos têxteis é a maior responsável pelos impactos ambientais. Desta forma, pesquisas são requeridas a fim de reduzir o consumo de água, energia e produtos químicos, além da necessidade de conscientizar os consumidores para redução da periodicidade de lavagem e realização de melhores práticas de uso.

Lima (2010) salientou que os países europeus reconhecem a importância da utilização de técnicas para desenvolvimento de produtos e serviços cada vez mais sustentáveis, e possuem banco de dados consolidados com utilização de softwares e Políticas Públicas que se envolvem com a técnica de desenvolvimento sustentável. O Brasil se esforça para desenvolver softwares nacionais que possibilitam a consolidação de banco de dados em nosso país e reconhece a ACV como uma técnica eficiente para análise ambiental, sendo inclusa na Política Nacional de Resíduos Sólidos.

2.9.1 Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil

Após a criação da ISO / TC 207 (Technical Committee on Environmental Management), com o apoio de empresas, associações e entidades representativas dos segmentos econômicos e técnicos do país, foi criado em 1994 na ABNT, o (GANA), Grupo de Apoio À Normalização Ambiental, este grupo teve como meta acompanhar e analisar os trabalhos desenvolvidos pelo TC 207 da ISO e avaliar o impacto das normas ambientais nas organizações brasileiras. Em 1998, o GANA encerrou suas atividades e em abril de 1999 a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) criou o Comitê

Brasileiro de Gestão Ambiental – ABNT / CB 38. A ISO unificou as normas de Avaliação do Ciclo de Vida como a série ISO 14040 (CONMETRO).

Considerando a importância da ACV como ferramenta utilizada para a melhoria da qualidade ambiental no mundo, as Organizações das Nações Unidas (ONU), por meio do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), ou United Nations Environment Programme (UNEP), juntamente com a Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), promoveram uma parceria internacional chamada Life Cycle Initiative (LCI), tendo como objetivo instruir pessoas em todo o mundo visando disseminar idéias sobre Ciclo de Vida. No Brasil, foi criada em 2002 a Associação Brasileira do Ciclo de Vida (ABCV), com o intuito de divulgar esta importante ferramenta (LIMA, 2010).

As normas existentes referente a ACV podem ser visualizadas na Figura 5.

Figura 5 - Normas referentes à ACV

Nº da Norma: Ano	Título	Descrição
ISO 14040: 2006	Avaliação do ciclo de vida – princípios e estruturas	Proporciona os elementos gerais e metodologias requeridas para uma ACV de produtos e serviços.
ISO 14041: 1998	Avaliação do ciclo de vida – objetivos e escopo, definições e análise de inventários	Guia para determinar as metas e o escopo de um estudo de ACV e para o inventário de LCA. Substituída pela ISO 14044:2006.
ISO 14042: 2000	Avaliação do ciclo de vida – avaliação de impacto do ciclo de vida	Guia para a fase de avaliação de impacto de um estudo de ACV. Substituída pela ISO 14044:2006.
ISO 14043: 2000	Avaliação do ciclo de vida – interpretação do ciclo de vida	Proporciona guia para interpretar os resultados de um estudo de ACV. Substituída pela ISO 14044:2006.
ISO 14044: 2006	Gestão ambiental – avaliação do ciclo de vida – requerimentos e diretrizes	Especifica requisitos e proporciona um guia para a avaliação do ciclo de vida, incluindo exemplos. Incorpora os temas tratados nas normas ISO 14041, 14042 e 14043.
ISO TS 14048: 2002	Avaliação do ciclo de vida – informações sobre apresentação de dados para um estudo de avaliação do ciclo de vida	Proporciona informação sobre o formato dos dados para suporte de uma ACV.
ISO TR 14049: 2000	Avaliação do ciclo de vida – Exemplos para aplicação da norma ISO 14041	Ilustra com exemplos como aplicar as normas ISO 14041.
ISO TR 14062: 2002	Gestão ambiental – Integração dos aspectos ambientais no desenvolvimento de produtos – exigências e diretrizes	Descreve conceitos e práticas usadas para integrar aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos e serviços.
ISO TR 14047: 2003	Avaliação do ciclo de vida – exemplos para aplicação da norma ISO 14042	Ilustra com exemplos como aplicar a norma ISO 14042.

Fonte: Barbieri e Cajazeira (2009).

2.9.1.1 Impactos Ambientais

De acordo com a NBR ISO 14001 (2004), o impacto ambiental pode ser considerado como qualquer modificação do meio ambiente, que resulte alterações nos aspectos ambientais da organização. Podendo considerar e identificar aspectos ambientais como: emissões atmosféricas, lançamentos em corpos d'água e solos, uso da energia, matérias-primas e recursos naturais, utilização da energia emitida como calor, radiação e vibração, resíduos e subprodutos, alterações nos atributos físicos como tamanho, forma, cor e aparência.

O conceito de Ecologia Industrial tornou-se conhecido por meio da publicação de um artigo de Robert Frosch e Nicholas Gallopoulos na revista *Scientific American* em 1989. Neste artigo os autores argumentaram ser possível o desenvolvimento de métodos de produção com menores impactos ambientais, tendo necessidade de substituir os processos isolados por sistemas integrados que ficaram conhecidos como “ecossistemas industriais”. Estes sistemas modificariam a lógica de produção isolada que se baseava na utilização de matérias-primas que resultariam em produtos e resíduos, substituindo por sistemas que viabilizariam o aproveitamento interno de resíduos e subprodutos, reduzindo as entradas e saídas externas (GIANNETTI; ALMEIDA, 2006).

Ainda segundo Giannetti e Almeida (2006), a Produção Mais Limpa (P+L) se trata de uma filosofia proativa que permite antecipar e prever impactos ambientais. Adeptos a esta filosofia afirmam que a P + L pode ser utilizada em todo o ciclo de vida de um produto. Desta forma os fabricantes poderiam controlar todos os estágios de vida, incluindo a pré-manufatura, substituição da matéria-prima, melhoria de processo, definição da real necessidade de insumos e estudo de viabilidade da reutilização.

D'Agostini e Finotti (2010), realizaram um estudo com aplicação da ferramenta de ACV, para identificar impactos ambientais e observar as fases que estes ocorrem na produção de um acoplamento de veículos pesados conhecido como quinta-rodas. Neste estudo foram consideradas as etapas de manufatura, uso e manutenção e descarte final do material, sendo possível a utilização do sistema computacional SimaPro® para analisar e monitorar o desempenho ambiental dos produtos e serviços.

Mikos e Ugaia (2012) pesquisaram sobre os impactos ambientais decorrentes da fabricação, utilização e descarte de lâmpadas incandescentes e mostraram que a ACV pode ser utilizada como uma abordagem estratégica para identificar reais oportunidades de inovação, assim como quantificar o desempenho ambiental de produtos. Neste

estudo, com auxílio dos métodos de ACV e utilização do software SimaPro 7.2, os resultados obtidos demonstraram que o consumo de energia elétrica durante a etapa de uso foi considerada como sendo o mais significativo em relação ao desempenho ambiental, sendo assim as melhorias em relação aos impactos devem ocorrer nesta etapa.

Santos (1997) realizou um levantamento dos impactos ambientais provenientes do setor têxtil, utilizando para o estudo de caso, a empresa Hering Têxtil S.A., nesta pesquisa foi realizado um mapeamento dos recursos utilizados e também sua forma de descarte para o meio ambiente, sendo analisados os insumos utilizados, aspectos referentes à poluição da água, do ar, do solo, o calor e energia. Desta forma, foram também ressaltados os pontos de destaque relacionados com a preservação ambiental tomada pela empresa pesquisada. De acordo com os resultados, a área de beneficiamento foi considerada uma das mais críticas em relação a poluição ambiental no setor têxtil, isto se deve ao fato da utilização de substâncias químicas, grande quantidade de água e emissões para o ar .

Monteiro (2008) apontou que a quantidade de água industrial despejada juntamente com sua carga química, proveniente dos banhos de tingimento são os principais fatores relacionados a questão ambiental, não desprezando o consumo de energia, emissões para a atmosfera, resíduos sólidos e odores.

Abreu et al. (2008) avaliaram as condutas sociais e ambientais de 16 (dezesseis) empresas têxteis da região nordeste do país. A pesquisa ocorreu no ano de 2006 e considerou na análise o porte da empresa: pequeno, médio e grande conforme a classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, classificando também a conduta ambiental como fraca, intermediária e forte. A pesquisa revelou que apenas quatro empresas possuíam política ambiental formalizada, e somente oito empresas tinham responsáveis específicos para atendimento na área ambiental e possuíam planejamentos utilizando um Sistema de Gerenciamento Ambiental. De um modo geral a pesquisa demonstrou por meio dos resultados, que quanto maior o porte da empresa, maior é a tendência em se preocupar com questões relacionadas a impactos ambientais.

As empresas com condutas ambientais fortes possuem políticas ambientais com objetivos e metas, programas de gestão ambiental, conhecem e acompanham as legislações ambientais, desenvolvem programas de educação ambiental e coleta seletiva e são certificados pela ISO 14001. Estas empresas avaliam constantemente os seus

impactos ambientais, utilizam tecnologias avançadas para tratamento das emissões, resíduos e efluentes, assim como elaboram relatórios com o desenvolvimento nesta área (ABREU et al., 2008).

Silva et al. (2012) utilizaram o software Simapro 7.3 e o método Eco-Indicador para análise de comparação dos impactos ambientais causados pelos processos de fiação de fibras acrílicas e de fiação de fibras de algodão. De acordo com os resultados obtidos pode-se afirmar que as fibras de algodão contribuem em maior percentual para os impactos ambientais, podendo atribuir ao fato de que para o cultivo do algodão são necessários o uso intensivo de agrotóxicos, assim como a geração de poeira tóxica no processo de fiação. Sendo assim é possível comprovar a possibilidade de utilização da ACV com o software Simapro 7.3 para análise de processos têxteis.

De acordo com Santos et al. (2012), o ser humano interfere no ambiente com o intuito de garantir sobrevivência e habitar com maior conforto, no entanto estas interferências são realizadas ignorando os limites da natureza e seus recursos. Com o desenvolvimento tecnológico, os impactos causados pelo ser humano no ambiente, se tornaram ainda maiores.

O aumento do número de acidentes ambientais e das proporções que estes atingiram nas vidas humanas foram os responsáveis pelo surgimento das contestações sobre gerenciamento ambiental dos procedimentos das atividades antrópicas, buscando métodos menos prejudiciais a saúde humana e ambiental. Com esta finalidade, foram elaboradas as normas de Gestão Ambiental que compõe a série ISO 14000, com a utilização das normas as empresas podem melhorar os processos e por meio da certificação ambiental, recuperar sua imagem perante seus consumidores e auxilia na competitividade empresarial focando em duas vertentes essenciais: gestão de processo e gestão de produtos (SANTOS et al., 2012).

Por meio da ACV dos produtos ou serviços é possível detectar pontos no processo que possam sofrer modificações em busca da sustentabilidade, não desconsiderando os impactos associados ao uso e descarte de materiais (SANTOS et al., 2012).

Estudos sobre impactos ambientais em processos devem ser considerados imprescindíveis dentro da cadeia têxtil, pois possibilitam a utilização de novas técnicas que proporcionam redução considerável dos impactos ambientais devido a menor utilização de recursos naturais e utilização de materiais que seriam descartados para o meio ambiente (FERRI, 1976).

Knoll (2011) realizou um estudo comparativo em relação a lavagem e estonagem de artigos denim (jeans) com utilização de pedras, enzimas e lavagem utilizando pedaços de pneus usados, e verificou que esta técnica com pneus cortados proporciona menor impacto ambiental, devido o tempo de processo, relação de banho, temperatura e quantidades de produtos químicos utilizados, podendo ainda considerar o processo como sustentável, uma vez que retirou os pneus sem vida útil do meio ambiente.

Segundo Andrade (2011), a poluição deve ser entendida como "toda alteração das condições ecológicas existentes. Há, pois, possibilidade de poluição do ar, da água e do solo, pelos mais variados agentes aos quais costumamos chamar poluentes". Neste contexto, o deslocamento de qualquer tipo de veículo movido a gasolina ou a óleo diesel, lança no ambiente atmosférico gases provenientes da combustão completa e incompleta. Assim, o veículo lança na atmosfera diversos gases, alterando a composição química desse ambiente, qualitativa e quantitativamente.

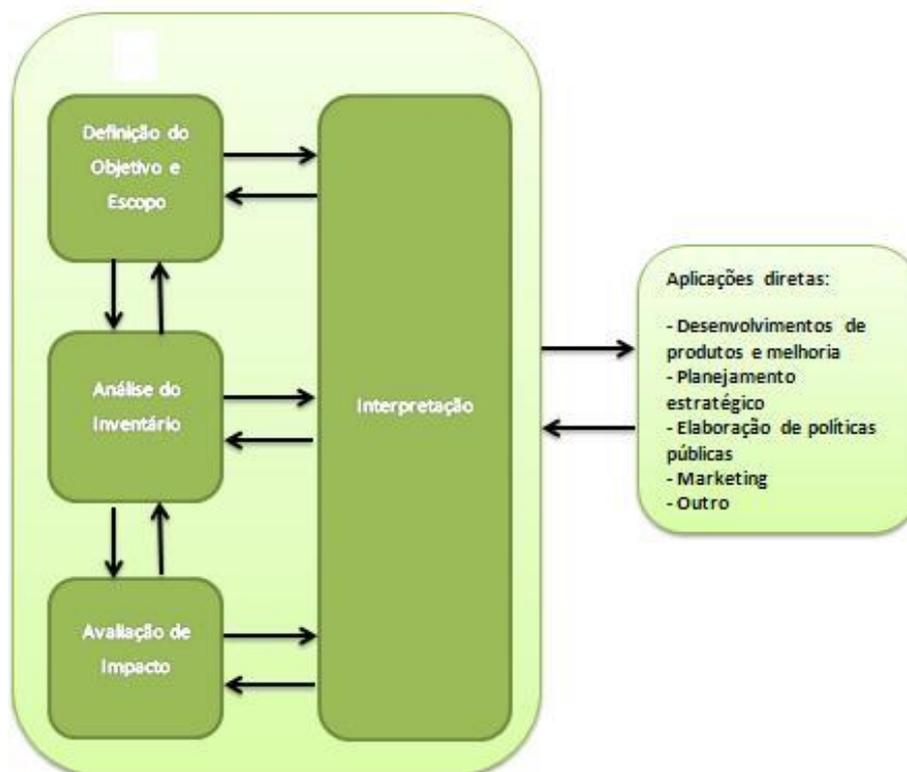
Monteiro (2008) ressalta que existem várias MTD's (Melhores Técnicas Disponíveis). Estas técnicas são utilizadas com o objetivo de alcançar melhor eficiência ambiental, em relação ao beneficiamento foram salientadas as seguintes questões: substituição do hipoclorito de sódio pelo peróxido de hidrogênio, porque além de promover maior grau de alvura, tem a vantagem de produzir radicais livres, que degradam os agentes engomantes removendo-os dos tecidos; a utilização de enzimas na preparação do tecido, para redução do consumo de águas e conseqüentemente da carga de efluentes; o uso de tensoativos derivados de álcoois graxos etoxilados, com alta taxa de biodegradabilidade e baixa toxicidade.

O desenvolvimento industrial possui como particularidade o aumento da utilização de recursos e energia, que cresce proporcionalmente com o crescimento da população mundial. Este desenvolvimento contribuiu para o bem-estar da humanidade e estimula a inserção de novas tecnologias aplicadas visando a melhoria da qualidade de vida. Juntamente com a vantagem proporcionada pelo uso de tecnologias voltadas ao bem estar, há a incidência de impactos ambientais negativos devido a exploração inadequada dos recursos naturais, assim como a geração de resíduos em excesso. Os resultados ambientais de ordem negativa ameaçam a frequência do bem-estar social da humanidade e o equilíbrio biológico do planeta (CASA, 2012).

2.9.2 Fases da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

De acordo com a Norma ISO 14040 (2006), existem quatro fases num estudo de ACV que podem ser visualizadas na Figura 6.

Figura 6 - Fases da ACV



Fonte: ABNT ISO 14040 (2006).

2.9.2.1 Objetivo e Escopo

Conforme exposto na norma ISO 14044(2006), a profundidade e a amplitude da avaliação do ciclo de vida podem variar de acordo com o objetivo e o escopo do estudo, e devem ser claramente definidos e consistentes com a destinação pretendida, podendo ser reformulado ao longo do estudo. Para definição do objetivo, é essencial a indicação dos seguintes itens: aplicação a que se destinam, razões para realização do estudo, público a que designa. Na definição do escopo, os seguintes itens devem ser claramente definidos e considerados: o sistema de produto a ser estudadas, funções do sistema de produto, a unidade funcional, limite do sistema, requisitos de qualidade de dados, os dados, as suposições, as limitações, entre outros.

Nesta fase são definidos a condução do estudo, sua abrangência e delimitação (fronteira), a unidade funcional, a metodologia, procedimentos considerados necessários para garantir a qualidade da pesquisa (CHEHEBE, 1998; SANTOS et al., 2012)

Uma das principais aplicações de uma unidade funcional é o de proporcionar uma referência dos dados de entrada e saída, devendo ser claro e mensurável. No caso de comparações entre sistemas, a função deverá ser quantificada pela mesma unidade funcional (ISO 14044, 2006).

2.9.2.2 Análise de Inventário

De acordo com Ferrão (1998), o inventário integra o núcleo da ACV e consome a maior parte do tempo empregado nestes estudos. Em muitas ocasiões, a pesquisa pode ser finalizada nesta fase, o que consolida um ICV (Inventário de Ciclo de Vida). As etapas a serem implementadas são as seguintes:

- 1) Definição das fronteiras do sistema;
- 2) Esquematização do diagrama de blocos representativo do sistema;
- 3) Coleta de informação;
- 4) Processamento dos dados;
- 5) Análise dos resultados e eventual redefinição das fronteiras do sistema.

A Análise de Inventário envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas relevantes de um sistema de produto. Na medida em que os dados vão sendo recolhidos, ocorre um processo interativo com o sistema a ser pesquisado, podendo ser identificados pontos que necessitem de alterações no recolhimento de dados, visando o cumprimento do objetivo do estudo (ISO 14040:2006).

De acordo com a ISO 14044 (2006), os itens a serem inseridos no inventário devem ser detalhados para que possam atender o objetivo do estudo, podendo ser classificados da seguinte forma:

- insumos energéticos, insumos de matérias-primas, insumos auxiliares, outros insumos físicos,
- produtos, co-produtos e resíduos,
- emissões para o ar, água e solo, e

- outros aspectos ambientais.

Os resultados da fase de inventário são apresentados em tabelas para efetivação da próxima fase, avaliação do impacto. As quantidades de material e energia dos ciclos contidos nas tabelas são provenientes do inventário especificado de cada etapa que compõe o ciclo (RIBEIRO; GIANETTI; ALMEIDA, 2003).

2.9.2.3 Avaliação do Impacto

A avaliação do impacto do ciclo de vida é a fase onde ocorre a seleção e definição das categorias de impactos ambientais incluindo, classificação, caracterização, normalização e atribuições de pesos (SANTOS et al., 2012; FERRÃO, 1998).

A etapa de avaliação do impacto tem como finalidade avaliar a importância do potencial ambiental, utilizando os resultados da análise de inventário. Nesta fase as categorias de impacto, os indicadores da categoria e os dados do inventário são agregados para melhor entendimento dos impactos ambientais obtidos na pesquisa. (NBR ISO 14040, 2006).

De acordo com a Norma ISO 14044 (2006), esta fase deve ser planejada com cautela para alcançar o objetivo e o escopo do estudo de avaliação do ciclo de vida, levando em consideração as seguintes precauções:

- a) se a qualidade dos dados e resultados do inventário é suficiente para conduzir a avaliação de impacto de acordo com o objetivo do estudo e definição do escopo;
- b) se a fronteira do sistema e dados recolhidos foram suficientemente revisados para garantir a disponibilidade de resultados do inventário;
- c) se a relevância ambiental dos resultados da avaliação de impacto é diminuída devido à unidade funcional considerada no inventário.

A norma específica para avaliação do impacto do ciclo de vida é a NBR ISO 14042 (2004), e pode ser utilizada para estabelecer um nível básico de desempenho ambiental para um determinado sistema de produto; identificar processos elementares em um sistema de produto onde ocorrem as maiores utilizações de fluxos de energia, de matérias-primas e emissões; auxiliar na definição de critérios para utilização de rotulagem ambiental; formular o objetivo e o escopo do estudo; definir e modelar os sistemas a serem analisados.

2.9.2.4 Interpretação

De acordo com a NBR ISO 14043 (2005), os objetivos da interpretação do ciclo de vida são de analisar os resultados, explicar limitações, chegar a conclusões e oferecer recomendações baseadas nas informações do inventário do ciclo de vida (ICV) e expor seus resultados de forma transparente.

A interpretação do ciclo de vida envolve a identificação e análise dos resultados em relação à integridade, sensibilidade e a coerência das informações, com as devidas conclusões, limitações, recomendações e tomada de decisão (SANTOS et al., 2012).

Segundo Williams (2009), as limitações, suposições e estimativas, devem ser mencionadas nas especificações dos resultados, com o objetivo de estabelecer maior confiabilidade no estudo.

De acordo com Piekarski et al. (2012), após a análise e interpretação dos resultados obtidos é possível identificar os pontos críticos que necessitam de melhorias, ou inovações nos produtos e processos com o objetivo de preservar o ambiente.

Segundo Coltro (2007), na fase de interpretação é elaborado um resumo dos resultados da análise de inventário e da fase de avaliação de impacto. Estes resultados são combinados e interpretados de acordo com o objetivo definido, e servirão para recomendações e conclusões pertinentes ao estudo.

Conforme abordado por Saic (2006), é necessário avaliar os resultados da análise de inventário e de avaliação de impacto para selecionar o produto, processo ou serviço preferido, com entendimento da incerteza das deduções utilizadas para gerar os resultados.

2.10 MÉTODOS DE ANÁLISE DE IMPACTO AMBIENTAL

2.10.1 RECIPE

O método para avaliação do ciclo de vida do inventário RECIPE 2008, fornece uma receita para o cálculo de indicadores de categoria de impacto do ciclo de vida, este nome representa as iniciais dos institutos que foram os principais contribuintes neste projeto e colaboradores para a sua elaboração, RIVM e Radboud University, CML, e Pré Consultants.

Goedkoop et al. (2009), relatam que o RECIPE 2008, é composto por dezoito categorias de impacto a nível do ponto médio (MIDPOINT), são elas:

- 1) Mudança climática (CC)
- 2) Depleção da camada de ozônio (OD)
- 3) Acidificação terrestre (TA)
- 4) Eutrofização de água doce (FE)
- 5) Eutrofização marinha (ME)
- 6) Toxicidade humana (HT)
- 7) Formação de oxidantes fotoquímicos (POF)
- 8) Formação de material particulado (PMF)
- 9) Ecotoxicidade terrestre (TET)
- 10) Ecotoxicidade de água doce (FET)
- 11) Ecotoxicidade marinha (MET)
- 12) Radiação ionizante (IR)
- 13) Ocupação de terras agrícolas (ALO)
- 14) Ocupação do solo urbano (ULO)
- 15) Transformação da terra natural (NLT)
- 16) Esgotamento da água (WD)
- 17) Esgotamento de recursos minerais (MRD)
- 18) Esgotamento dos combustíveis fósseis (FD)

De acordo com Goedkoop et al. (2009), o RECIPE é um método de carácter combinativo entre abordagens *midpoint* e *endpoint* para avaliação de impactos do ciclo de vida. No nível *midpoint*, as categorias de impactos são relatadas em função de unidades individuais para cada fator, no nível *endpoint* é implementada uma pontuação geral única. Esta pontuação se refere às categorias de danos à saúde humana, ecossistemas e recursos.

Na escolha do método é importante verificar se o mesmo é condizente com os objetivos traçados e os resultados esperados da ACV, sendo necessário um estudo aprofundado sobre as características e aplicabilidade por meio de levantamentos bibliográficos (PIEKARSKI et al., 2012).

2.10.1.1 Descrição das Categorias de Impacto

Toxicidade Humana

Esta categoria é ocasionada pelas atividades antrópicas que emitem substâncias tóxicas sobre a saúde humana por meio de ingestão ou inalação. São considerados nesta categoria os efeitos tóxicos medidos na antroposfera, incluindo efeitos toxicológicos crônicos, efeitos carcinogênicos e não-carcinogênicos e a impactos associados a uma determinada massa de um elemento químico emitido ao ambiente (SILVA, 2012).

A toxicidade humana é medida em kg de 1,4 diclorobenzeno/dia (kg 1,4-DB eq/kg de emissão).

Conforme Pegoraro (2008), são chamados Métodos Baseados em Volumes Críticos, os métodos nos quais as substâncias a serem avaliadas são caracterizadas pelas suas massas emitidas, subdivididas pelos critérios de efeito (resultados diretos ou derivados de testes de toxicidade humana), estes métodos não levam em conta o destino ambiental dos poluentes no meio ambiente, ou seja, sua distribuição ambiental, nem a exposição humana a esses poluentes através dos hábitos alimentares, desta forma assumem que a exposição e o destino para todas as substâncias tóxicas são equivalentes.

Acidificação Terrestre

Conforme Trajano (2010), a acidificação e a eutrofização são categorias de impactos regionais causados pela emissão ao ar do NO_x (óxidos de nitrogênio) e SO₂ (dióxido de enxofre). Estas substâncias causam impactos ambientais tais como as Chuvas Ácidas (CA), Toxicidade ao ser Humano (TH) e os NO_x causam ainda o aumento dos níveis de nutrientes na água (ANN), também conhecido como eutrofização.

O potencial de acidificação consiste na relação entre o número de potenciais equivalentes H⁺ por unidade de massa da substância *i*, e o número de potenciais equivalentes H⁺ por unidade de massa de uma substância de referência. Experiências recentes consideram condições específicas regionais e locais para os cálculos de fatores de caracterização mais sensíveis às diferenças apresentadas. Este potencial é expresso em kg de SO₂/kg de emissão (LIMA, 2010).

Esgotamento Fóssil

O impacto referente ao esgotamento fóssil está associado a utilização de grandes quantidades de combustíveis derivados do petróleo, gás natural e carvão mineral para gerar energia, isto se deve ao fato das reservas existentes levarem em média milhões de anos para se formarem. O fator de caracterização do esgotamento dos combustíveis fósseis é a quantidade de material extraído, com base no poder calorífico superior (SILVA, 2012). A unidade é expressa na massa total de óleo equivalente (kg de óleo equivalente).

Mudança Climática

As alterações climáticas provocam uma série de fatores que afetam diretamente o meio ambiente, tanto em relação a saúde humana como a saúde do ecossistema. Em geral os modelos de estudos sobre mudança climática são desenvolvidos para avaliar o impacto ambiental do futuro (GOEDKOOOP et al., 2009).

O clima da Terra está mudando constantemente em decorrência de processos naturais como as erupções vulcânicas, variações de órbita e alterações na radiação solar, certa variabilidade é natural, o que significa que nunca um ano será como o outro. No entanto, no século passado, os níveis de gases do efeito estufa aumentaram rapidamente na atmosfera. As atividades humanas tais como a geração de energia a partir de combustíveis fósseis e o desmatamento intensificaram esse processo natural ao introduzir maior quantidade de gases no efeito estufa na atmosfera, que então passou a absorver mais calor. Com o aumento da concentração de gases no efeito estufa na atmosfera, ocorre o aumento da temperatura global (MARENGO; BETTS, 2011).

Ecotoxicidade Marinha

Os ensaios de toxicidade são ferramentas importantes para avaliar a qualidade das águas e a qualidade da carga poluidora de efluentes. No entanto somente as análises tradicionalmente realizadas encontram-se estabelecidas nas legislações ambientais.

Estas análises infelizmente não são capazes de distinguir entre as substâncias que afetam os sistemas biológicos e as que são inertes no ambiente e, por isso, não são

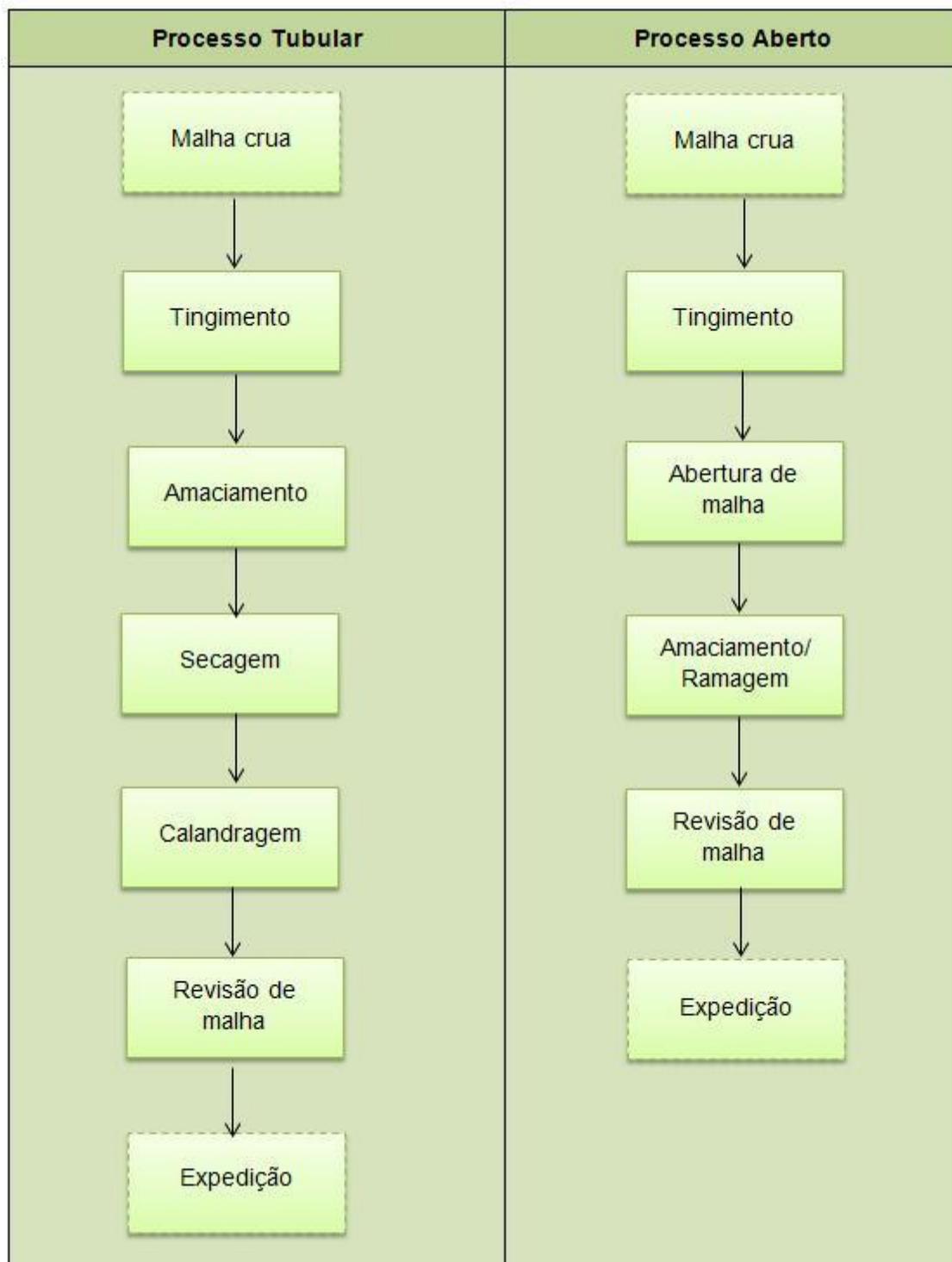
suficientes para avaliar o potencial de risco ambiental dos contaminantes (COSTA et al., 2008).

Os impactos ecotoxicológicos marinhos incluem os cálculos referentes aos metais essenciais, sendo estes o cobalto, cobre, manganês, molibdênio e zinco (GOEDKOOOP, et al., 2009).

3. DETALHAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO

A empresa possui dois fluxogramas de produção: processo tubular e processo aberto. No processo tubular a malha segue o fluxo sem abertura, recebe amaciante, seca e compacta a malha na forma tubular. Já no processo em aberto, após o tingimento a malha passa pelo abridor e segue o fluxograma de forma aberta, ou seja, com o dobro da largura anterior. Os processos em tubular e aberto podem ser visualizados na Figura 7.

Figura 7 - Fluxograma dos processos de beneficiamento



Fonte: Elaborado pela autora

No processo tubular a malha crua segue para o processo de tingimento, na sequência passa pelo hidroextractor, secador, calandra, revisão da malha e expedição. A malha processada em aberto necessita abertura após o tingimento e segue para a rama, equipamento responsável em amaciar, secar e revisar o material têtil.

3.1 MALHA CRUA

O material chega da malharia no estado cru e em rolos, e primeiramente este material é colocado em uma máquina de revisão e com auxílio de uma máquina de costura, os rolos de malha são unidos formando as partidas para posterior tingimento, as partidas são formadas de acordo com a capacidade das máquinas de tingimento. A máquina de revisão opera com velocidade de aproximadamente 10 m/min, facilitando a retirada de partes do lote com defeitos provenientes do fio ou do processo de tecer. Em seguida, os rolos já unidos e devidamente revisados são encaminhados para as máquinas de tingimento.

3.2 TINGIMENTO

Neste processo, o material cru proveniente da revisão é purgado e alvejado para posterior tingimento, os lotes são tintos em máquinas pelo processo de esgotamento, utilizando corantes reativos, diretos ou dispersos de acordo com a composição do artigo.

No tingimento são utilizadas 13 máquinas HTs (High Temperature), sendo 05 HTs modelo redonda e 08 HTs modelo longa. Estes equipamentos permitem tingimento em altas temperaturas (135 °C.), podendo ser utilizados no tingimento da fibra de poliéster e de algodão, 03 máquinas modelo Over Flow utilizadas para tingimento da fibra de algodão. A Figura 8 mostra uma máquina de tingimento (HT) por esgotamento com 3 entradas.

Figura 8 - Máquina de tingimento (esgotamento)



Fonte: Malhas Kepper

3.3 ABERTURA DA MALHA

Os artigos de malha que seguirão para amaciamento/ramagem precisam necessariamente passar pelo abridor de malhas. Esta máquina é utilizada para abrir artigos tubulares que serão acabados em aberto e pode ser visualizado na Figura 9.

Figura 9 - Abridor de Malha



Fonte: Bianco-SPA (2013).

A abridora de malhas possui sensores com fotocélulas que detectam a abertura da malha no local da falha de agulha permitindo a abertura correta do tecido. Desta forma o tecido a partir desta etapa segue o fluxo da malha aberta.

3.4 AMACIAMENTO

O amaciamento da malha pode ocorrer no *foulard* da rama (malha aberta), ou no *foulard* do hidroextrator (malha tubular). O *foulard* possui uma cuba onde ficam os produtos químicos e a água utilizados no amaciamento; rolos espremedores que servem para retirar o excesso de água do tecido deixando-o com *pick-up* ideal para a etapa posterior (secagem ou ramagem).

O amaciante utilizado no processo é o Soft 4034 a base de éteres (nanoemulsão de silicone) arilpoliglicolicos, o qual confere maciez, melhora o toque do tecido assim como as propriedades de rugas ocasionadas pelos processos anteriores. Desta forma o tecido fica com melhor aparência e toque. Caso o artigo necessite de algum acabamento diferenciado, este normalmente é aplicado simultaneamente com os amaciantes.

3.5 SECAGEM

O secador é responsável em secar os tecidos que passaram pelo hidroextrator. Assim, para usa-lo é necessário que haja uma coerência em relação às características da malha e as regulagens do equipamento, ou seja quanto maior a quantidade de gramas por metro quadrado de tecido, maior deve ser o tempo de exposição do mesmo dentro do secador visando uniformidade na umidade do material.

O secador possui uma esteira de alimentação, na qual o material é inserido e passa pelos campos de secagem, a entrada do material fica em uma extremidade e a saída no lado oposto, conforme demonstrado na Figura 10.

Figura 10 - Secador de Malha Tubular



Fonte: Albrecht Equipamentos Industriais (2013) .

3.6 CALANDRAGEM

A calandra é uma máquina de passar utilizada no processo de malhas tubulares que elimina as dobras e marcas provenientes do secador, deixando a malha com brilho, toque, largura correta e pronta para utilização nas confecções.

Na entrada do equipamento o tecido não calandrado é inserido nas roldanas do sistema de abertura da calandra, o que permite a adequação da largura do tecido da malha tubular conforme ficha técnica do artigo. O equipamento possui cilindros de aço aquecidos e manta de feltro que possibilita a passagem do tecido entre os cilindros deixando o tecido com as especificações técnicas requeridas no desenvolvimento do produto.

Figura 11 – Calandra



Fonte: Delta Equipamentos (2013)

3.7 AMACIAMENTO/RAMAGEM

O amaciamento/ramagem é realizado em uma máquina conhecida como rama, é utilizada para amaciar, secar e termofixar tecidos ou malhas. Este equipamento possui correntes de abertura que proporcionam largura e quantidade de gramas por metro desejada no tecido. Além disso, possui um *foulard* acoplado em sua entrada permitindo a impregnação de produtos químicos, corantes ou produtos de acabamento. Nesta empresa em estudo, o *foulard* da rama é utilizado para aplicar amaciante, pois o processo de tingimento ocorre por esgotamento e não por impregnação.

A rama possui vários campos de secagem e são utilizados conforme a quantidade de gramas por metro quadrado (gramatura), que o artigo possui. Este equipamento possui um maior comprimento em relação aos demais, sendo comum ter operadores trabalhando na entrada e na saída da máquina.

No processo de acabamento da indústria em análise são utilizados dois (02) hidroextratores, uma (01) abridora de malhas, uma (01) lavadora, um (01) secador para as malhas processadas da forma tubular, duas (02) calandras de brilho e duas (02) compactadeiras.

3.8 REVISÃO DA MALHA

Na indústria têxtil a revisão do tecido pode ser realizada em uma revisadeira no final do processo ou de forma simultânea no último equipamento da linha produtiva rama (malha aberta) ou calandra (malha tubular), a empresa em estudo optou em revisar o tecido de forma simultânea.

Para possibilitar a revisão na saída do equipamento, a malha fica estendida verticalmente com iluminação apropriada para que ocorra uma revisão do artigo. As velocidades nestes equipamentos podem variar de 10 a 20 metros por minuto, dependendo da necessidade de acompanhamento.

3.9 EXPEDIÇÃO

Nesta etapa, o tecido calandrado ou ramado, devidamente etiquetado segue para a área de expedição onde os lotes ficam agrupados aguardando a liberação dos resultados de controle de qualidade do tecido para serem liberados para os clientes.

3.10 CONTROLE DE QUALIDADE

O controle de qualidade na empresa ocorre em todas as etapas desde a preparação das partidas do tingimento, por meio da revisão do tecido cru, no processo de tingimento com avaliação da cor do tecido e ensaios de solidez a lavagem. Após o acabamento as malhas são avaliadas em relação a largura, gramatura e encolhimento.

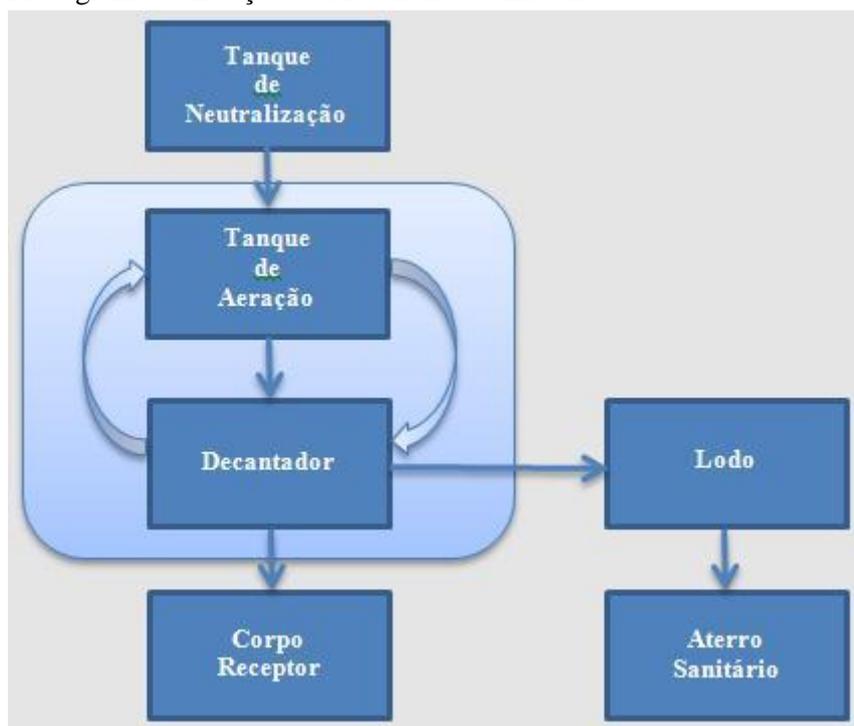
3.11 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

A água utilizada no processo de tingimento e acabamento é descartada para a estação de tratamento de efluentes, onde serão realizadas as seguintes etapas: neutralização, aeração e decantação.

Na etapa de neutralização a água que sai do processo de tingimento vai para o primeiro tanque onde ocorre a correção do pH por meio de aditivos (ácidos ou bases). Na sequência a água vai para o segundo tanque onde recebe oxigenação e tratamento biológico por sistema de lodo ativado. Nesta operação são adicionados ao tanque bactérias de fossa séptica que irão se alimentar das impurezas presentes na água a ser

tratada. Em seguida, a água vai para o tanque decantador, onde a água tratada é separada dos resíduos (lodo) e segue para o corpo receptor, o lodo é retirado e levado para o aterro sanitário por empresa especializada. Caso esta etapa de decantação não seja eficiente, é necessário que a água retorne ao tanque de aeração. São retiradas cerca de 30 toneladas de resíduos (lodo) por mês. O fluxograma da estação de tratamento de efluente pode ser visualizado na Figura 12.

Figura 12 - Fluxograma da Estação de Tratamento de Efluente



Fonte: Elaborado pela autora.

Forgiarini (2006) ressalta que existem diversas formas físicas, químicas e biológicas de tratamento para efluentes têxteis, sendo o mais utilizado o tratamento biológico de lodo ativado. Neste sistema, o efluente é submetido a oxidação por microrganismos que reduz significativamente a carga poluidora lançada no ambiente.

De acordo com o CONAMA no Art. 38 da Resolução nº 357 de março de 2005, o enquadramento dos corpos de água dar-se-á de acordo com as normas e procedimentos definidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos-CNRH e Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, e deverá ser definido pelos usos mais restritivos da água, atuais ou pretendidos.

Martins (2011) afirma que para minimizar os impactos ambientais, é necessário um gerenciamento adequado dos efluentes, por meio de procedimentos específicos de

coleta e tratamento, e que a escolha da tecnologia correta para o tratamento depende da análise completa dos tipos e características dos contaminantes que deverão ser minimizados ou eliminados.

Segundo Ueda (2006), na indústria têxtil o principal método utilizado para o tratamento de efluente é o de lodos ativados, esta técnica é eficiente para a redução de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), no entanto não se mostra tão competente quanto a remoção da cor das correntes aquosas.

De acordo com Baêta (2012), grande quantidade de despejos líquidos gerados em uma indústria têxtil é proveniente da limpeza, tingimento e acabamento no setor de beneficiamento, tendo como consequência um efluente com variações de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) e elevada presença de cor e sólidos totais (ST).

4. METODOLOGIA

Os métodos adotados para o desenvolvimento desta pesquisa foram baseados na ISO 14044 (2006), sendo necessário definir e delinear as seguintes etapas: Objetivo e Escopo, Análise do Inventário, Avaliação de Impacto e Interpretação.

4.1 COLETA DE DADOS E DEFINIÇÃO DO ESCOPO

Os dados coletados são de origem primária, obtidos de relatórios de produção fornecida por uma empresa localizada na região noroeste do estado do Paraná.

Na definição do escopo é necessária a descrição dos elementos essenciais para a realização da pesquisa. Para a análise do impacto ambiental será considerado a revisão da malha crua, formação de lotes, preparação do tingimento, tingimento, acabamento de malhas e transporte.

A unidade funcional será 1 kg de malha beneficiada.

A empresa realiza o processo de tingimento e acabamento em artigos de malhas com composições 100% algodão e 67% algodão e 33% poliéster. Para efeito de cálculos para conversão da unidade funcional, foi adotado um percentual de composição e separação de processos de tingimento com corante reativo, direto e disperso. A distribuição foi considerada em relação ao consumo de produtos químicos mensais e a proporção destes produtos no processo de tingimento. Desta forma para melhor distribuição do consumo de produtos químicos utilizados, foram estabelecidas as seguintes divisões: para cada 1 kg de malha, foram consideradas 0,620 kg tingidas com corantes reativos, 0,200 kg com corantes dispersos e 0,180 kg com corantes diretos.

Para a realização desta pesquisa foi necessário à utilização de recursos computacionais com a aplicação do *software* SimaPro versão 7.3.3, da Pré Consultants, que permite associar as informações obtidas da indústria com o banco de dados sobre refinamento têxtil.

Os dados foram obtidos da empresa de beneficiamento de malhas por meio do preenchimento de uma planilha com dados sobre o processo produtivo em relação ao consumo mensal dos produtos químicos, quantidades de energia elétrica, térmica e consumo de água utilizada no tingimento e acabamento, assim como dados sobre os relatórios referentes ao efluente têxtil, DBO, DQO, quantidade de lodo e emissões para o ar.

Para a caracterização do perfil ambiental foi utilizado o Método RECIPE MIDPOINT (E), por apresentar as categorias de impactos mais relevantes para este estudo.

4.2 ANÁLISE DO INVENTÁRIO

Os dados obtidos foram coletados de uma indústria de beneficiamento de malhas localizada na região Noroeste do Paraná que esta no mercado desde 1998 e beneficia cerca de 250 toneladas de malhas por mês, trabalha com serviços terceirizados, atendendo malharias dos Estados do Paraná e Santa Catarina.

Os dados coletados na indústria foram: consumo de energia elétrica e energia térmica, consumo de água potável e industrial, quantidade de produtos químicos (corantes e auxiliares de tingimento e acabamento), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), emissões ao ar, quantidade de resíduo sólido e efluente industrial.

Para elaboração do inventário foi criado um processo novo no *software* SimaPro® denominado Beneficiamento de Malhas, e a partir dos dados obtidos na indústria e do banco de dados do *software* SimaPro® foi possível elaborar o inventário.

4.2.1 Elementos utilizados para cálculo do Desempenho Ambiental

Água: No beneficiamento de malhas, é utilizada uma grande quantidade de água devido ao processo de tingimento ser realizado em equipamentos de esgotamento. No processo de acabamento, o amaciante é aplicado com água no *foulard*, equipamento composto por uma cuba e cilindros espremedores. A água utilizada no processo é proveniente de poços artesianos e possui um consumo mensal de aproximadamente 21.600 m³.

Energia Elétrica: o *software* SimaPro® possui entrada com disponibilidade da utilização de fonte de energia adaptada ao Brasil, o consumo mensal foi de 300.000 KWh, foram consideradas energia elétrica de alta tensão, devido ser unidade industrial.

Madeira de cavaco: Para a realização do processo de beneficiamento das malhas, são necessários combustíveis para a caldeira e para o aquecedor de fluido térmico. O combustível utilizado para gerar calor nas máquinas foi a madeira de cavaco, sendo

necessário 156 toneladas para o aquecedor de fluído e 375 toneladas para a caldeira IMA.

Transporte Rodoviário: A empresa em estudo é localizada na região noroeste do Paraná e seus fornecedores são do Estado de São Paulo, Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Norte, para calcular a quantidade de tonelada quilométrica (tkm) do transporte diesel, foram consideradas apenas as entregas do Estado de São Paulo, Santa Catarina e Paraná, esse transporte foi classificado de forma diferenciada do transporte rodoviário (sal), pelo fato de que os caminhões de entrega dessas regiões possuem capacidade de cargas menores e o *software* permite diferenciá-las para melhor avaliação do impacto ambiental que este tipo de transporte acarreta.

Transporte Rodoviário (sal): Para a realização do processo de tingimento com corante reativo é fundamental a utilização de um eletrólito para auxiliar na fixação do corante na fibra. Neste processo é utilizado o Cloreto de Sódio, este material vem da cidade de Natal no Rio Grande do Norte com carga de aproximadamente 30 toneladas, com uma trajetória de aproximadamente 6.950 km (ida e volta).

A diferença entre os dois tipos de transporte rodoviário é a carga a ser transportada e também a trajetória de cada tipo de caminhão.

Hidrossulfito de Sódio: Este componente é utilizado no tingimento com corante disperso para fibras de poliéster, sendo responsável pela limpeza reductiva, removendo o corante da superfície da fibra. No processo foram utilizados cerca de 500 kg de hidrossulfito para o tingimento de 50 toneladas de malha (tingimento da fibra sintética).

Carbonato de Sódio: Álcali utilizado no tingimento com corante reativo e suas quantidades podem variar de 5 a 20 g/l. O consumo mensal desta substância é de 3000 kg.

Peróxido de Hidrogênio: Substância utilizada para promover a limpeza da coloração do algodão, deixando o material com o grau de alvura maior, é utilizada tanto no tingimento com corante reativo como no tingimento com corante disperso, tendo um consumo mensal de aproximadamente 2000 kg.

Cloreto de Sódio: Eletrólito empregado no tingimento com corante reativo, e suas quantidades variam de 20 a 80 g/l, conforme a intensidade da cor. Foram utilizados aproximadamente 30.000 kg deste componente.

Químicos Inorgânicos: Neste grupo foi alocado o consumo de um coagulante inorgânico catiônico utilizado no tratamento de efluentes, se trata de um produto pré-polimerizado a base de policloreto de alumínio, sendo utilizados cerca de 3000 kg deste coagulante.

Químicos Orgânicos: Neste conjunto foram considerados alguns produtos químicos utilizados no tingimento, entre eles: umectantes (600 kg), sequestrantes (250 kg), dispersantes (1320 kg), amaciantes (2000kg), corantes diretos (217,06kg), corantes reativos (1.573,64 kg) e corantes dispersos (1.183,02 kg).

Álcoois Etoxilados: Este composto químico foi encontrado no produto auxiliar do tingimento com corantes dispersos, atua como detergente, igualizante e dispersante. Para tanto são necessários em torno 250 kg deste material para o tingimento com corante disperso.

Hidróxido de Sódio: Base forte utilizada para remoção do corante não fixado na fibra e são utilizados cerca de 4000 kg mensais deste produto.

Monóxido de Carbono: Substância produzida pela queima incompleta do combustível (madeira de madeira), os valores de emissões de CO da caldeira e do aquecedor de fluído foram retirados do relato de desempenho realizado por empresa contratada em serviços de medições atmosféricas. De acordo com o relatório de monitoramento das emissões gasosas, a taxa de emissão da caldeira e do aquecedor de fluído é de 6.137 (ton/ano). As medições das emissões gasosas são efetuadas com o equipamento CHEMIST 400 COMBUSTION ANALYSER fabricante SEITRON Itália – Série 1512, e os parâmetros analisados e calculados pelo equipamento são: O₂, CO₂, temperatura ambiente e temperatura dos gases.

Demanda Química de Oxigênio: De acordo com os dados da indústria de beneficiamento, a DQO é de 80 mg/l, sendo proporcional a quantidade de água utilizada nos processos de tingimento e acabamento.

Demanda Biológica de Oxigênio: De acordo com os dados da indústria de beneficiamento, a DBO é de 12 mg/l, sendo proporcional a quantidade de água utilizada nos processos de tingimento e acabamento.

Tratamento de Esgoto: Conforme informações da indústria, são tratados cerca de 28 m³ por mês de lodo, provenientes do processo de tratamento de efluente.

Os dados foram convertidos de acordo com a unidade funcional (1 kg de malha) e inseridos no *software*, conforme disposto na Tabela 3.

Tabela 3 - Recursos utilizados no beneficiamento de malhas

Insumos	Quantidade	Unidade
Água Industrial	86,4	Kg
Água de Consumo	0,96	Kg
Energia Elétrica	1,2	KWh
Lascas de Madeira	28,52	MJ
Transporte rodoviário	5,44	tkm
Transporte rodoviário (sal)	6,954	tkm
Hidrossulfito de Sódio	0,002	Kg
Carbonato de Sódio	0,012	Kg
Peróxido de Hidrogênio (50% de H ₂ O)	0,0091	Kg
Cloreto de Sódio	0,12	Kg
Químicos Inorgânicos	0,012	Kg
Químicos Orgânicos	0,0425	Kg
Álcoois Etoxilados	0,0054	Kg
Hidróxido de Sódio	0,016	Kg
Monóxido de Carbono	0,02465	Kg
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	6988,8	mg
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5)	1048,32	mg
Lodo	0,000112	m ³

Fonte: Elaborado pela autora.

Para obtenção dos resultados referente aos impactos ambientais, os dados são inseridos no *software* SimaPro ®, conforme mostra a Figura 13.

Figura 13 - Tela do *software* SimaPro

Arquivo Editar Calcular Ferramentas Janela Ajuda

Documentação Entradas/Saídas Parâmetros Descrição do sistema

Produtos							
Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos e co-produtos							
Nome	Quantidade	Unidade	Grandeza	Alocação %	Categoria	Comentário	
Beneficiamento Têxtil	1	kg	Massa	100 %	Elaine	Global	
(Insira linha aqui)							
Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos evitados							
Nome	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD ^{^2} ou 2*SD	Min	Máx	
(Insira linha aqui)							
Entradas							
Entradas conhecidas da natureza (recursos)							
Nome	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD ^{^2} ou 2*SD	Min	Máx
Water, process, well, in ground		86,4	kg	Indefnido			
(Insira linha aqui)							
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais/combustíveis)							
Nome	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD ^{^2} ou 2*SD	Min	Máx	
Electricity, high voltage, production BR, at grid/BR U	1,2	kWh	Indefnido				
Wood chips, from forest, softwood, burned in furnace 1000kW/CH U	28,52	MJ	Indefnido				
Transport, combination truck, diesel powered/US	5,44	tkm	Indefnido				
Transport, lorry 16-32t, EURO3/RER U	6,954	tkm	Indefnido				
Sodium dithionite, anhydrous, at plant/RER U	0,002	kg	Indefnido				
Sodium carbonate from ammonium chloride production, at plant/GLO U	0,012	kg	Indefnido				
Hydrogen peroxide, 50% in H2O, at plant/RER U	0,0091	kg	Indefnido				
Sodium chloride, powder, at plant/RER U	0,12	kg	Indefnido				
Chemicals inorganic	0,012	kg	Indefnido				
Chemicals organic, at plant/GLO U	0,0425	kg	Indefnido				
Ethoxylated alcohols (AE3), petrochemical, at plant/RER U	0,0054	kg	Indefnido				
Sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant/RER U	0,016	kg	Indefnido				

Fonte: SimaPro versão 7.3.3.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

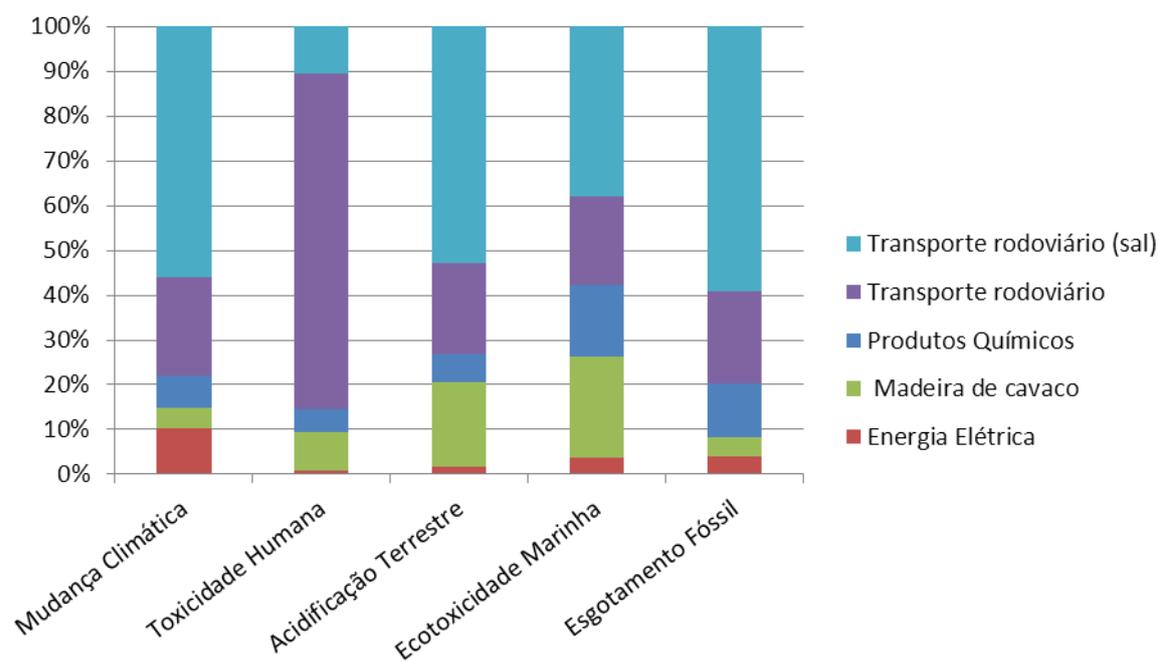
Neste capítulo serão demonstrados os resultados obtidos com a inserção dos dados do inventário no *software* Simapro®, e estes poderão ser conferidos nas figuras 14 a 25. Serão utilizadas duas formas de avaliação: uma considerando o transporte para o fornecimento dos produtos químicos auxiliares, e outra não considerando o transporte.

5.1 AVALIAÇÕES DE IMPACTO

Para avaliação do Impacto Ambiental no processo de beneficiamento de malhas, foram escolhidas as seguintes categorias: mudança climática, toxicidade humana, acidificação terrestre, ecotoxicidade marinha e esgotamento fóssil, devido ao fato de apresentarem maiores valores de representatividade apontados pelo software SimaPro 7.3.3.

De acordo com a Figura 14, Impactos ambientais no beneficiamento, é possível observar que o transporte rodoviário (sal) e transporte rodoviário foram os itens que alcançaram maiores valores percentuais em relação a maior parte das categorias em estudo. Em seguida, o item madeira de cavaco, que corresponde ao combustível utilizado na caldeira e no aquecedor de fluido térmico. Isto se deve a grande carga de dióxido de carbono desprendida durante a queima do combustível, uma vez que esta trajetória referente ao item Transporte rodoviário (sal) é relativamente grande (aproximadamente 6954 km), acarretando maior impacto ambiental em relação aos demais itens correlacionados.

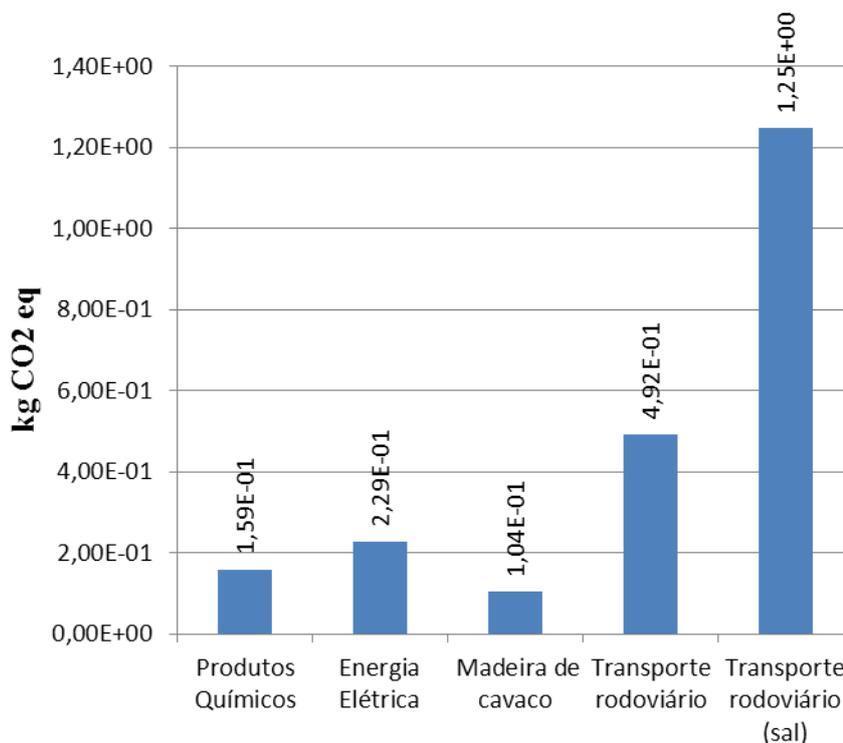
Figura 14 - Impactos ambientais no beneficiamento



Os resultados divulgados por Lucia e Valverde (2010) demonstram que a queima de combustíveis fósseis gera um alto percentual de dióxido de carbono na atmosfera, concordando com os resultados apresentados nesta pesquisa. Barczak e Duarte (2012) apresentam que o aumento na emissão de CO₂ decorrente dos transportes cresceu 120% desde 1970, sendo um dos principais setores na emissão deste gás.

Na categoria Mudança Climática, o transporte rodoviário (sal) foi responsável pela maior parte do impacto em relação a esta categoria, conforme demonstrado na Figura 15. O maior causador é a operação do caminhão, ou seja, a trajetória percorrida onde ocorre a queima do combustível. O *software* SimaPro permite a visualização das variáveis consideradas com a especificação das substâncias, e apontou o dióxido de carbono como o elemento mais impactante na utilização dos dois tipos de transportes considerados na pesquisa.

Figura 15 - Impactos ambientais na Mudança Climática

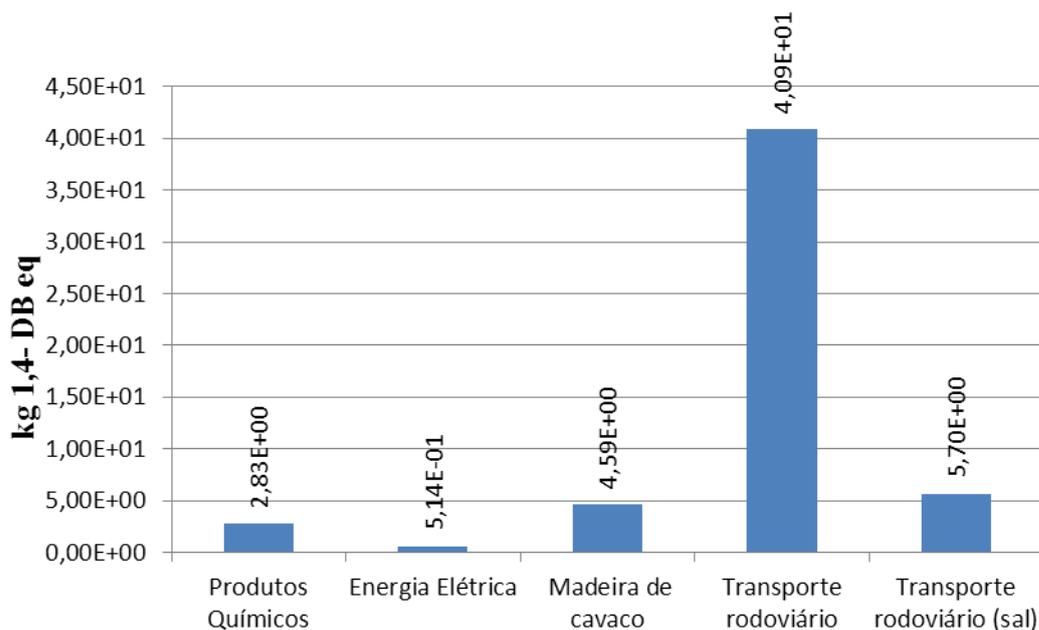


Barbosa (2012) também aponta o transporte como um dos fatores de maior contribuição na geração de CO₂, acarretando diversos efeitos, como, por exemplo, a alteração climática, uma vez que esse gás é o principal agente que provoca o efeito estufa.

Para Santos, Gulyurtlu e Cabrita (2010), a combustão de combustíveis fósseis gera diversos gases que contribuem para diversas alterações ambientais, tais como efeito estufa e chuva ácida. Segundo a CETESB (2010), as emissões de CO₂, provenientes da combustão, ocorrem pela liberação deste composto no processo de oxidação completa dos combustíveis que contém carbono, e dependem da quantidade de carbono existente em cada combustível. Neste procedimento, a maior parte de carbono é emitida na forma de CO₂, uma porção pequena é liberada na forma de monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), e compostos voláteis não metânicos (NMVOC).

Em relação aos resultados da categoria Toxicidade Humana apresentados na Figura 16, o transporte rodoviário foi o que apresentou maior impacto ambiental, seguido do transporte rodoviário (sal).

Figura 16 - Impactos ambientais na categoria Toxicidade Humana

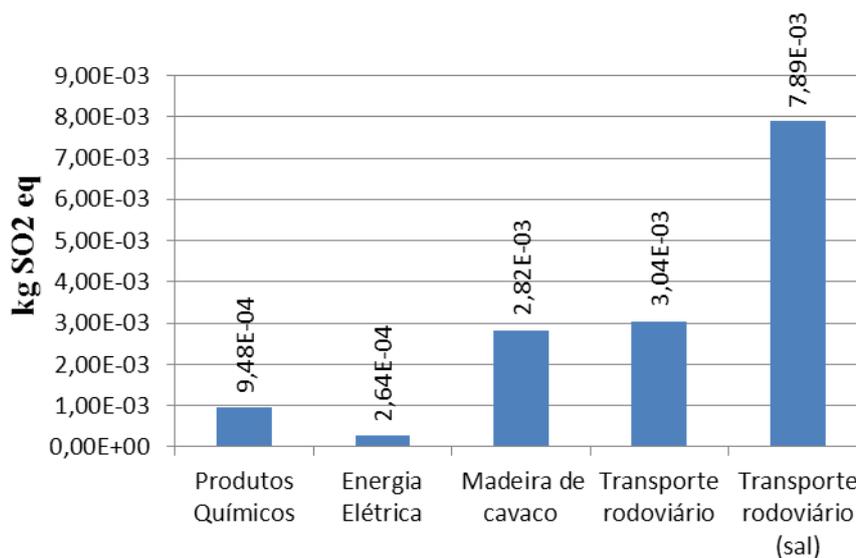


Na análise por especificação de substância foi possível detectar que no transporte rodoviário e rodoviário (sal) tiveram como elementos ocasionadores de impacto o bário, manganês e o selênio.

A constante incidência destes compostos afeta significativamente a saúde humana, como apontam Abreu (1994) e Martins e Lima (2001), uma vez que liberados no ambiente provocam o acúmulo no organismo humano e, por sua vez, se tornam tóxico à saúde.

Na análise dos dados da categoria Acidificação Terrestre, o transporte rodoviário (sal), transporte rodoviário e madeira de cavaco se apresentaram como os maiores causadores de impacto nesta categoria, conforme pode ser visualizado na Figura 17. Considerando todos os fatores simultaneamente, obteve-se como elementos ocasionadores destes impactos as substâncias: óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre e amônia, sendo possível detectar quais destas substâncias se destacaram em cada item avaliado.

Figura 17 - Impactos ambientais na categoria Acidificação Terrestre



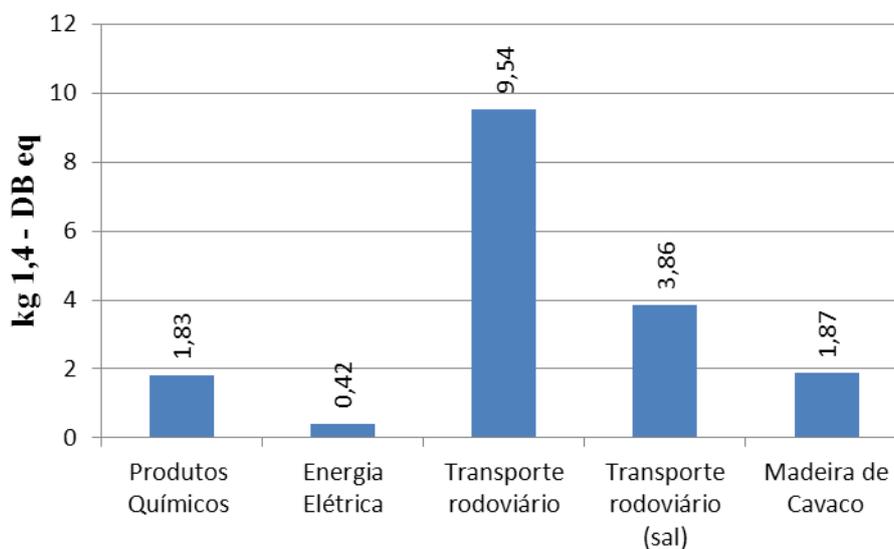
No transporte rodoviário (sal), os elementos ocasionadores do impacto foram os óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre e amônia, já no transporte rodoviário e madeira de cavaco, os elementos foram: óxidos de nitrogênio e óxidos de enxofre.

De acordo com Barbosa (2012), estes elementos liberados no ambiente provocam impactos no ar, água (rios, lagos, mares, lençóis freáticos) e solo, acarretando uma acidificação do meio, interferindo na fauna e flora deste ambiente.

Segundo Cunha et al. (2009), os óxidos de enxofre e de nitrogênio oriundos da queima de combustíveis fósseis (MIRLEAN; VANZ; BAISCH, 2000) são os principais agentes responsáveis pelas chuvas ácidas no planeta, as quais causam impactos nos diversos ecossistemas e na saúde humana (MARTÍNEZ-GONZÁLEZ et al., 2011)

Na categoria Ecotoxicidade Marinha, o transporte rodoviário foi o que apresentou o fator mais impactante, conforme mostra-se na Figura 18.

Figura 18 - Impacto ambiental na categoria Ecotoxicidade Marinha

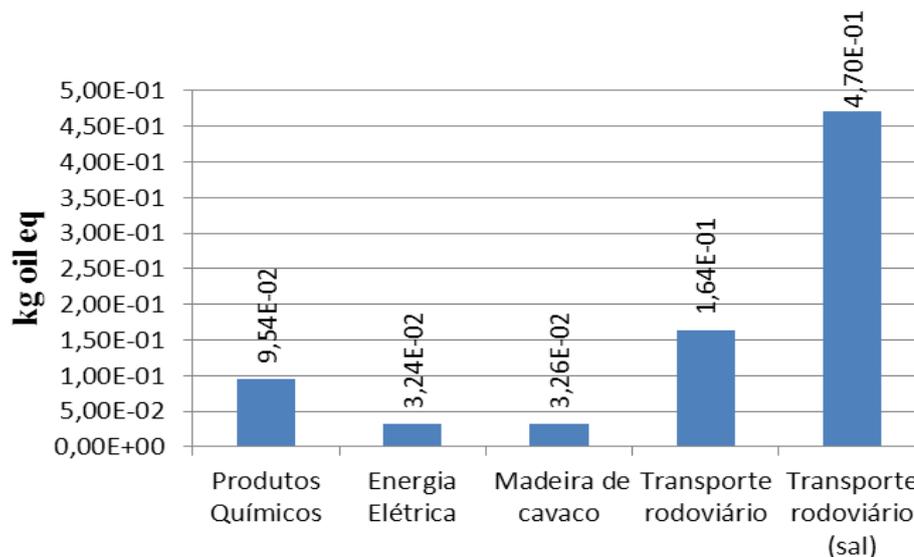


Analisando especificamente este fator, os elementos impactantes foram o bário e o berílio.

A disponibilidade destes elementos e seus compostos no ambiente pode se acumular em diferentes componentes da flora e fauna, podendo atingir o homem pela cadeia trófica (MARENGONI et al., 2013). Tanto o bário quanto o berílio são tóxicos, e pode ocasionar efeitos no sistema circulatório e sistema nervoso, e em grande quantidade pode levar a pessoa a morte num intervalo curto de tempo (SÃO PAULO, 2009).

Na categoria Esgotamento Fóssil, o transporte rodoviário (sal) foi o maior elemento impactante, de acordo com a Figura 19. Esta categoria teve como fatores significativos o petróleo bruto no chão, gás natural em terra e carvão não especificado no chão. Estes fatores representam impactos ambientais referentes a utilização de recursos naturais.

Figura 19 - Impacto ambiental na categoria Esgotamento Fóssil



Para Santos, Gulyurtlu e Cabrita (2010), o petróleo, o gás natural e o carvão são combustíveis fósseis que suprem as necessidades energéticas da sociedade. No entanto, todos estes combustíveis são de categoria não renovável, apresentando limitação de fornecimento, pois são recursos finitos, além de serem considerados altamente poluentes devido o processo de combustão. Um fator alarmante é destacado por Goldemberger (2000), o qual indica que os combustíveis fósseis correm o risco de exaustão nas próximas duas décadas.

De modo geral a queima do combustível fóssil proveniente do transporte rodoviário e transporte rodoviário(sal) foram os fatores mais representativos na análise do impacto ambiental do beneficiamento.

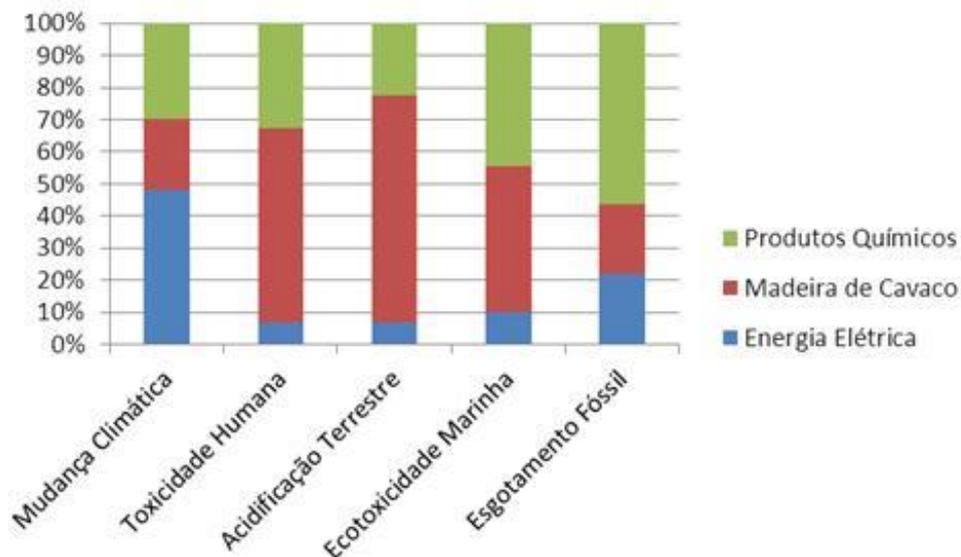
5.2 AVALIAÇÕES DE IMPACTO DESCONSIDERANDO O TRANSPORTE

Para avaliação do impacto ambiental no processo interno, foram inseridas informações relacionadas as entradas e saídas do sistema, desconsiderando o transporte. Desta forma, foi possível visualizar qual dos elementos proporcionaram impactos nas seguintes categorias: mudança climática, acidificação terrestre, toxicidade humana, esgotamento fóssil e ecotoxicidade marinha.

Conforme pode ser visualizado na Figura 20 sobre os impactos ambientais no beneficiamento sem considerar o transporte, nota-se que os impactos referentes a toxicidade humana, acidificação terrestre e ecotoxicidade marinha apontaram a madeira de cavaco como sendo o maior fator impactante nestas categorias. Em relação a

mudança climática, a energia elétrica foi o fator mais impactante e, em relação ao esgotamento fóssil, os maiores causadores de impacto foram os produtos químicos.

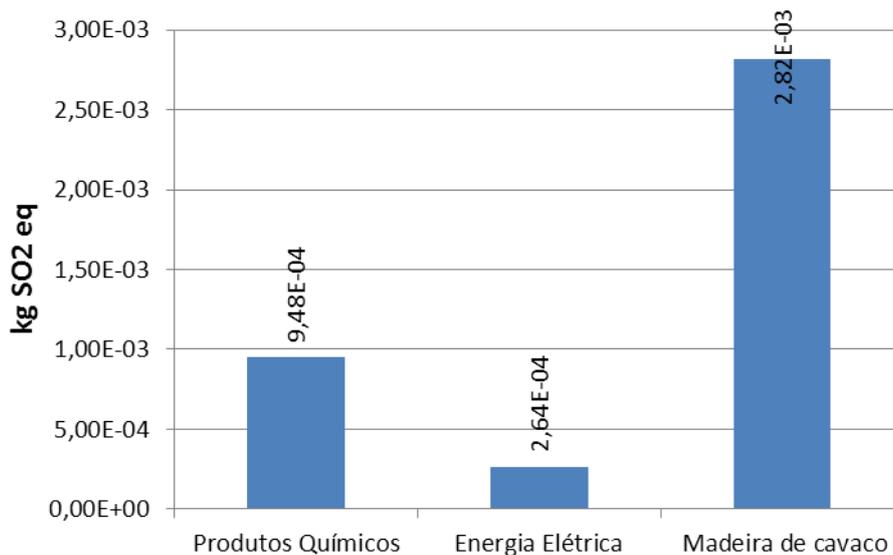
Figura 20 - Impactos ambientais no beneficiamento (sem transporte)



Estes resultados podem ser justificados pela grande concentração de poluentes gerados na queima da biomassa. Este recurso é utilizado como fonte de energia em forma de calor para abastecimento da caldeira e do aquecedor de fluido térmico utilizado na rama. As medições são realizadas utilizando o princípio de células eletroquímicas para análise dos gases resultantes da combustão. De acordo com os dados coletados referente as emissões de O_2 (%) e CO (ppm), a empresa se encontra em conformidade em relação aos padrões atmosféricos estabelecidos na Resolução SEMA 054/06. No entanto os valores estão próximo ao limite aceitável.

Na categoria Acidificação Terrestre, o maior fator impactante foi a utilização da madeira de cavaco, conforme demonstrado na Figura 21.

Figura 21 - Impactos ambientais na categoria Acidificação Terrestre (sem transporte)



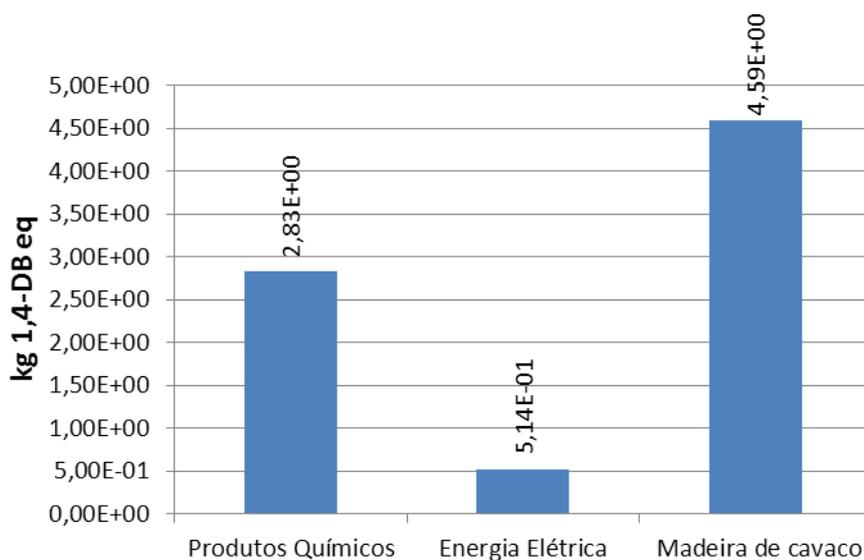
As substâncias mais impactantes na queima desta biomassa foram os óxidos de nitrogênio.

Arbex et al. (2004) afirmam que o dióxido de nitrogênio (NO_2), o monóxido de carbono (CO), o benzeno, o benzopireno, partículas inaláveis (PM_{10}), partículas respiráveis e partículas finas ($\text{PM}_{2,5}$) são os principais poluentes provenientes da queima da biomassa.

Conforme já mencionado anteriormente, alguns desses gases lançados para o meio ambiente provocam chuvas ácidas alterando o solo e a atmosfera, dentre eles os óxidos de nitrogênio.

Na categoria Toxicidade Humana, a queima do cavaco apresentou maior impacto ambiental, como pode ser observado na Figura 22.

Figura 22 - Impactos ambientais na categoria Toxicidade Humana (sem transporte)

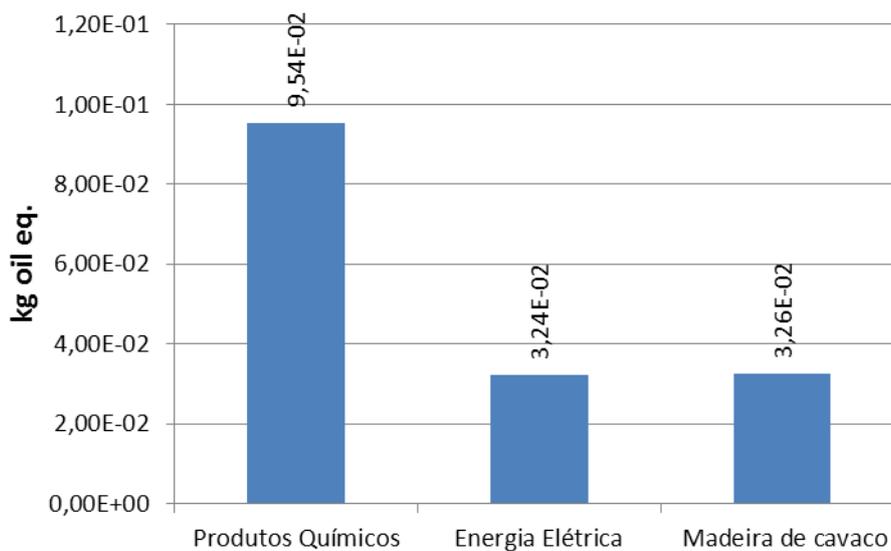


De acordo com a análise das substâncias ocasionadoras de toxicidade foi possível detectar que o manganês foi o principal elemento causador do impacto, seguido do selênio, íons de arsênio e bário.

De acordo com Sai et al. (2003) (apud SOARES, 2009), nas últimas décadas tem aumentado a preocupação com a contribuição potencial das poeiras na toxicidade dos metais pesados, entre eles o manganês (Mn). Esses metais atuam como co-fatores em muitas doenças de origem cardiovascular, neurológica e câncer.

Na categoria Esgotamento Fóssil o fator impactante foram os produtos químicos utilizados no tingimento e acabamento dos tecidos, conforme demonstrado na Figura 23. Os elementos impactantes foram a extração do petróleo bruto no chão e o gás natural da terra.

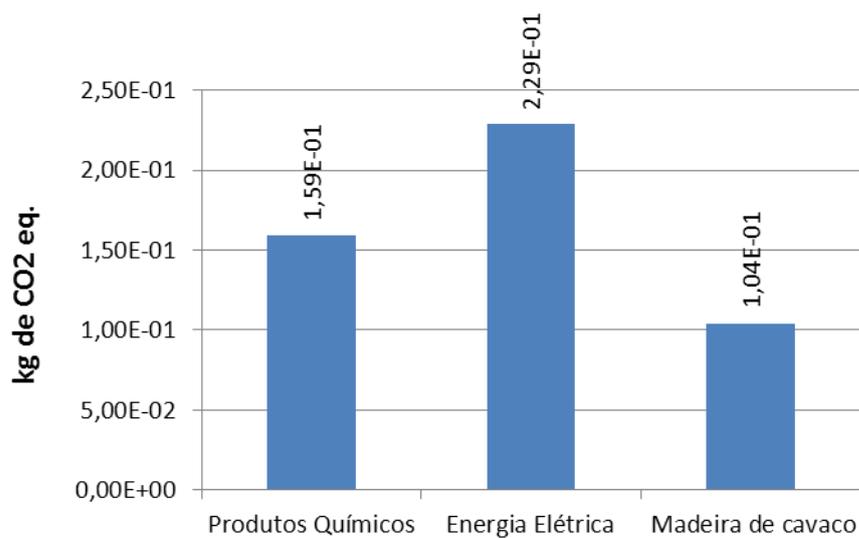
Figura 23 - Impactos ambientais na categoria Esgotamento Fossil (sem transporte)



Na fabricação da maior parte dos produtos químicos é utilizado o petróleo como matéria-prima. Broadbent (2001) afirma que os corantes sintéticos são obtidos a partir do alcatrão de carvão e produtos químicos de petróleo, sendo estes componentes os sucessores dos corantes naturais.

De acordo com a Figura 24, a energia elétrica foi o maior fator impactante na categoria Mudança Climática, e os elementos evidenciados foram o dióxido de carbono fóssil e o monóxido de dinitrogênio.

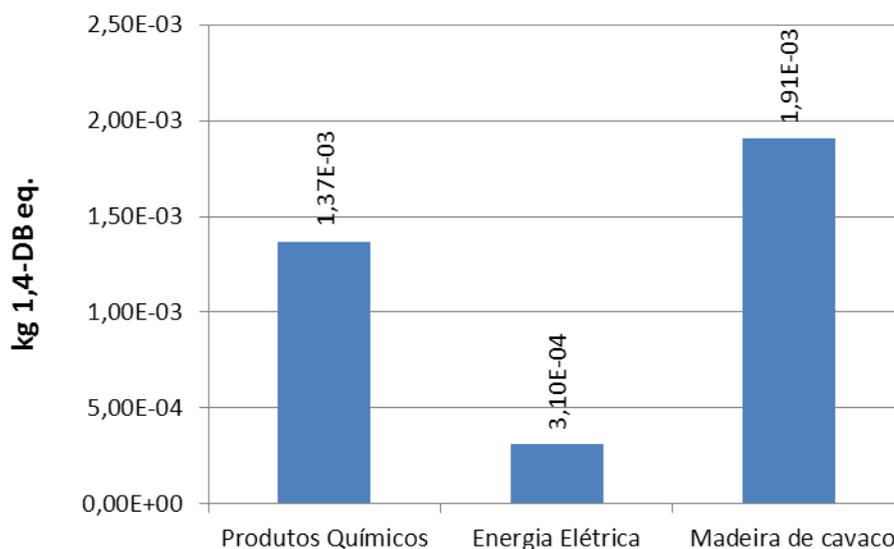
Figura 24 - Impactos ambientais na categoria Mudança Climática (sem transporte)



Uma fator importante para análise desta categoria de Mudança Climática é o processo de produção da energia elétrica no Brasil, que em sua maioria é decorrente de usinas hidrelétricas. No entanto, para a formação destas usinas é necessário a construção de represas, as quais geram grandes lagos que, segundo Moura et al. (2004), influenciam no transporte e dispersão dos gases, gerando mecanismos de vento local, exemplo de brisas.

Na categoria Ecotoxicidade Marinha, a madeira de cavaco foi o maior causador de impacto, conforme demonstrado na Figura 25.

Figura 25 - Impactos ambientais na categoria Ecotoxicidade Marinha (sem transporte)



Costa *et al.* (2008) afirmam que o ambiente aquático é altamente complexo e diverso, pois todos esses ecossistemas são produtos dinâmicos de interações complexas entre os componentes bióticos e abióticos característicos de cada um deles. Além de componentes conservativos, as águas também são constituídas por componentes não conservativos, os quais incluem os gases dissolvidos como O₂, CO₂ e N₂. O oxigênio e dióxido de carbono são os dois gases mais abundantes nas águas doces e marinhas. O oxigênio é importante porque atua como regulador em processos metabólicos dos organismos e comunidades. Grande parte do oxigênio dissolvido nas águas doce e salgada provém da atmosfera, mas ele também é produzido pela ação fotossintética das algas. O dióxido de carbono atua como tampão impedindo que mudanças bruscas de pH ocorram nas águas naturais, sendo assim, ocorrendo alterações na quantidade de oxigênio e dióxido de carbono devido a queima de biomassa, certamente serão afetadas as propriedades relacionadas ao pH das águas doces e marinhas.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Os resultados obtidos neste estudo mostraram que é possível a utilização da Avaliação do Ciclo de Vida utilizando o software SimaPro 7.3.3 para análise do impacto ambiental em uma indústria de beneficiamento têxtil. A confiabilidade destes resultados depende primeiramente dos limites adotados, da conversão dos dados em uma unidade funcional e da exatidão dos dados colhidos na unidade industrial. Esta ferramenta mostrou-se eficiente, uma vez que o inventário possui entradas coerentes com esta etapa industrial, ou seja, permite a alocação dos dados de forma apropriada.

Desta forma foi possível determinar quais os impactos das emissões e do consumo de recursos naturais sobre o ambiente. Os resultados mostraram que o impacto maior ocorreu com a emissão de CO₂ para o meio ambiente, proveniente do grande percurso do transporte rodoviário (sal), uma vez que a indústria pesquisada é localizada no estado do Paraná e mensalmente recebe cargas de sal do estado do Rio Grande do Norte, uma distância aproximada de 6954 km.

Na análise desconsiderando o transporte, o fator impactante que prevaleceu foi a madeira de cavaco, pois com a queima da biomassa são lançados para a atmosfera grandes quantidades de gases que prejudicam o meio ambiente.

Do ponto de vista acadêmico, esta pesquisa coopera com o desenvolvimento de outros trabalhos relacionados com a utilização da ACV na área têxtil.

Como recomendação a estudos futuros, seria importante a simulação da trajetória com outros meios de transporte, bem como investigar outros pontos de entrega do sal, visando apresentar opções menos impactantes.

7. REFERÊNCIAS

ANDRADE, D. B. M. Poluição: um sério problema nas praias de São Gonçalo. 2011. 52f. Monografia (Especialização), Universidade Candido Mendes. São Gonçalo. 2011.

ALBRETCH EQUIPAMENTOS. Disponível em www.albrecht.com.br. Acesso dia 11/04/2013 às 11:09 hrs.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE NÃOTECIDOS E TECIDOS TÉCNICOS (ABINT). **Manual de Têxteis Técnicos**: classificação, identificação e aplicações. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001**. Sistemas de gestão ambiental. Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR ISO 14040**. Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR ISO 14041**. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Definição de objetivo e escopo e análise de inventário. Rio de Janeiro, 2004.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14042**. Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Avaliação do impacto do ciclo de vida. Rio de Janeiro, 2004.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14043**. Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Interpretação do ciclo de vida. Rio de Janeiro, 2005.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044**. Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e diretrizes. Rio de Janeiro, 2009.

ABREU, I. S. **Impactos sociais e ambientais na agricultura**. Brasília: Embrapa, 1994.

ABREU, M. C. S. **Modelo de Avaliação da Estratégia Ambiental**: Uma ferramenta para a tomada de decisão. Florianópolis: UFSC, 2001.

ABREU, M. C. S.; FILHO, J. C. L. S.; OLIVEIRA, B. C.; HOLANDA, F. L. Perfis estratégicos de conduta social e ambiental: estudos na indústria têxtil nordestina. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 159-172, 2008.

AGUIAR NETO, P. P. **Fibras têxteis**. Rio de Janeiro: SENAI-DN:SENAI CETIQT, 1996. 341 p.

ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. A química do processamento têxtil. **Química Nova**, 19(3), p. 320-330, 1996.

ARAÚJO, M.; CASTRO, E. M. M. **Manual de Engenharia Têxtil**. 1.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984a.

_____. **Manual de Engenharia Têxtil**. 2.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984b.

ARBEX, M. A.; CANÇADO, J. E. D.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F.; SALDIVA, P. H. N. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 30, n. 2, Brasília, p. 158-175, mar/abr. 2004.

ARDUIN, R. H.; PACCA, S. A. O estado da arte da aplicação da avaliação do ciclo de vida no setor têxtil e de vestuário. In: 2º Congresso Brasileiro em Gestão de Ciclo de Vida em Produtos e Serviços. **Anais**. Florianópolis, 2010.

ASSAD, F. T.; NETO, J. B. S. S.; MORAES, K. K.; COSTA, N. J.; SANTOS, V. C.; Processamento do Algodão para a Produção Têxtil. In: **IV Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial**, 2010, Campo Mourão: FECILCAM, 2010.

ASSIS, A. H. C. **Avaliação das mudanças ocorridas em fibras de poliéster submetidas a tratamento alcalino e enzimático**. 2012. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BAÊTA, B. E. L. **Tratamento de Efluentes de Indústria Têxtil utilizando reatores anaeróbicos de membranas submersas (SAMBR) com e sem carvão ativado em pó (CAP)**. 2012. 107 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

BARBIERI, J. C.; CAJAZEIRA, J. E. RR. Avaliação do ciclo de vida do produto como instrumento de gestão da cadeia de suprimento – o caso do papel reciclado. In: Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais, 2009, São Paulo. **Anais**, São Paulo, 2009, p. 1-16.

BARBOSA, P. P. **Análise dos impactos ambientais da cadeia têxtil do algodão no espaço urbano-industrial: uma aplicação da avaliação do ciclo de vida**. 2012. 118f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

BARCELOS, E. I.; FRIEDERICHS, I.; GOULARTE, T. **Aplicação de Enzimas na Indústria Têxtil**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

BARCZAK, R.; DUARTE, F. Impactos ambientais da mobilidade urbana: cinco categorias de medidas mitigadoras. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, v.4, n.1, p. 13-32. jan/jun 2012.

BARRETO, A.A.M. **Qualidade e Produtividade na Indústria de Confecção: uma questão de sobrevivência**. 1ª edição. Fundação Biblioteca Nacional. Londrina, 1997.

BASTIAN, E. Y. O. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil** – Série P+L. São Paulo: CETESB: SINDITÊXTIL, 2009.

BIANCO-SPA. Disponível em www.bianco-spa.com/POR/AbridorasMolhada.html. Acesso dia 11/04/2013 as 10:30 hrs.

BROADBENT, A. D. **Basic Principles of Textile Coloration**. Canada: Society of Dyers and Colourists, 2001.

CASA, M. C. **A indústria de confecção do vestuário do município de Pato Branco: Aspectos de desenvolvimento, gestão, design, e proposta de reaproveitamento dos resíduos têxteis**. 2012. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em desenvolvimento regional. Pato Branco, 2012.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente. **Inventário das Emissões de CO₂ por queima de combustíveis no Estado de São Paulo, 1990 a 2008: Abordagem de Referência (Top Down)**, 1º Relatório de Referência do Estado de São Paulo de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, período de 1990 – 2008. São Paulo – 2010.

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

CHEREM, L.F.C. **Um modelo para a predição da alteração dimensional em tecidos de malha em algodão**. 2004. 294 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

CIAMBRONE, D.F. **Environmental life cycle analysis**. Hughes Aircraft Company. California, 1997.

COLTRO, L. **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão**. CETEA/ITAL, Campinas, 2007.

CONMETRO (CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL). MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. Resolução n.º 03, de 22 de abril de 2010.

COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, Vol. 31, No. 7, 1820-1830, 2008.

CUNHA, G. R. et al. Dinâmica do pH da água das chuvas em Passo Fundo, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [online]. 2009, vol.44, n.4, p. 339-346.

D'AGOSTINI, M.; FINOTTI, A. R. Identificação de Melhorias Ambientais através da Aplicação da Ferramenta de Análise de Ciclo de Vida. **Anais**. In 2º Congresso Brasileiro em Gestão de Ciclo de Vida em Produtos e Serviços. Florianópolis-SC. 2010.

DELTA EQUIPAMENTOS. Disponível em <http://www.deltaequipamentos.ind.br/>. Acesso dia 12/04/2013 `as 11:10 hrs.

- ESTEVEES, M. F. F. **Corantes sulfurosos: Análise e tingimento por técnicas eletroquímicas**. 2000. 235 f. Escola de Engenharia, Universidade do Minho. Guimarães, 2000.
- FERRÃO, P.C. **Introdução a Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos**. Coleção Ensino da Ciência e da Tecnologia. Lisboa: IST Press, 1998.
- FERRARI, R. **Reuso do efluente do processo de mercerização no Tingimento de malha de algodão**. 2007. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. 2007.
- FERRI, M. G. **Ecologia e Poluição**. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1976.
- FORGIARINI, E. **Degradação de Corantes e Efluentes Têxteis pela enzima Horseradish Peroxidase (HRP)**. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.
- FREITAS, K. R. **Caracterização e reuso de efluentes do processo de beneficiamento da indústria têxtil**. 2002. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação e Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- GIANNETTI, E.; ALMEIDA, C. **Ecologia Industrial - Conceitos, Ferramentas e Aplicações**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2006.
- GOEDKOOP, M.; HEIJUNGS, R.; HUIJBRETS, 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**. First Edition. 2009.
- 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**. First edition (revised) Report I: Characterisation. 2013.
- GOLDEMBERGER, J. Pesquisa e desenvolvimento na área de energia. **São Paulo em perspectiva**. 2000, v.14, n.3, p.91-97
- GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, p. 71-78, 2000.
- IBICT. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. 2013. <http://acv.ibict.br/> Acessado em 09/2013
- IEMI (Instituto de Estudos e Marketing Industrial. LTDA). **Brasil Têxtil. Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira**. São Paulo, V.11, n.11, set. 2011.
- JENSEN, A. A.; HOFFMAN, L.; MOLLER, B. T.; SCHMIDT, A. **Life Cycle Assessment - A guide to approaches, experiences**. European Environment Agency, **Environmental Issues Series**, n. 6, 1997.

JULIANO, L. N.; PACHECO, S. M. V. Apostila de estamparia e beneficiamento têxtil. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina. Unidade de Ensino de Araranguá. Araranguá. 2008.

KNOLL, K.C. Estonagem ecológica para denim. **Textília** nº 80. São Paulo. Julho de 2011. pg. 30-38.

LEWIS, D. M.; BROADBENT, P. J.; VO, L.T.T. Fixação covalente de corantes reativos em algodão sob condições neutras. University of Leeds, Atlanta EUA. **Química Têxtil** n. 93, dezembro 2008.

LIMA, D. S. **Avaliação do ciclo de vida dos tubos de PVC produzidos no Brasil**. 2010. Fls. 63. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2010.

LIMA, D. S.; GODOY, M.R.B; SILVA, G.A. **A avaliação do ciclo de vida na gestão ambiental**. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. I Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Bauru, 2010.

LUCIA, L. D.; VALVERDE, S. R. Quantificação das emissões de gás carbônico pelo desmatamento e pela queima de combustíveis fósseis. In: Congresso de Pós-graduação da UFLA, XIX, 2010, **Anais**, Lavras: UFLA, 2010, p. 1-4. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/lavras/resumos/2107.pdf>>. Acesso em: 17.09.13.

MALHAS KEEPER. Disponível <http://www.malhaskeeper.com.br>. Acesso dia 11/04/2013 as 10:10 hrs.

MALUF, E.; KOLBE, W. **Dados Técnicos para a Indústria Têxtil**. 2.ed. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção, 2003.

MANZINI, E., VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: Edusp, 2008.

MARENGO, J. A.; BETTS, R. (Coord.). **Riscos das mudanças climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia**. CCST/INPE/MOHC, 2011.

MARENGONI, N. G. et al. Bioacumulação de metais pesados e nutrientes no mexilhão dourado do reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional. **Química Nova**. 2013, v.36, n.3, p. 359-363.

MARTINEZ-GONZALEZ, A et al. Comparison of potential environmental impacts on the production and use of high and low sulfur regular diesel by life cycle assessment. **C.T.F Cienc. Tecnol. Futuro**. 2011, v.4, n.4, p. 123-138.

MARTINS, I.; LIMA, I. V. **Ecotoxicologia do manganês e seus compostos**. v. 7. Salvador: Centro de Recursos Ambientais, 2001. (Série Cadernos de Referência

Ambiental). Disponível em: <<http://www.intertox.com.br/toxicologia/manganes.pdf>>. Acesso em: 17.09.13.

MARTINS, L. M. E. **Estudo da aplicação de processos oxidativos avançados no tratamento de efluentes têxteis visando o seu reuso**. 2011. 109f. Dissertação (mestrado) Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA). Núcleo de Referência em Ciências Ambientais do Trópico Ecotonal do Nordeste (TROPEN), Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

MIKOS W. L.; UGAYA. C. M. L. Avaliação do Ciclo de Vida: oportunidade para inovação. Anais. III Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços. Maringá-Pr. 2012.

MIRLEAN, N.; VANZ, A.; BAISCH, P. Níveis e origem da acidificação das chuvas na região do Rio Grande, RS. **Química Nova**, v.23, p.590-593, 2000.

MONTEIRO, D.C.M. **Licenciamento Ambiental das actividades de lavagem, branqueamento, mercerização ou tingimento de fibras têxteis**. Tese (Mestrado) - Departamento de Engenharia Química, Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia. Fevereiro, 2008.

MOURA, M. A. L. et al. **Evidência observacional das brisas do lago de Balbina (Amazonas) e seus efeitos sobre a concentração do ozônio**. *Acta Amaz.* 2004, vol.34, n.4, pp. 605-611.

PEGORARO, L.A. **Desenvolvimento de fatores de caracterização para toxicidade humana em avaliação do impacto do ciclo de vida no Brasil**. 2008. 103f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais – PPGEM, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

PIEKARSKI, C. M.; LUZ, L. M.; ZOCHE, L.; FRANCISCO, A. C. Métodos de Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida: uma discussão para adoção de métodos nas especificidades brasileiras. *Revista Gestão Industrial*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2012.

PRÉ-CONSULTANTS. **Introduction to LCA with SimaPro 7**. 2010.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. Resolução No 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005. Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63.

RIBEIRO, C. M.; GIANETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): Uma ferramenta importante da ecologia industrial**. LaFTA – Laboratório de Físico-Química Teórica e Aplicada. Universidade Paulista, São Paulo, 2003.

RIBEIRO, L. G. **Introdução à Tecnologia Têxtil**. Rio de Janeiro, CETIQT/SENAI, 1984.

RUSCHIONI, P. B.; ALFIERI, P.; Estudo da influência da temperatura de termofixação

nas propriedades físicas de malhas de poliamida 6.6. **Química Têxtil** n° 99. São Paulo. Junho, 2010. Pg. 52-61.

SADO, I.A.B.; SILVA, G.A.; MORALES, M.E. Comparação entre os Desempenhos Ambientais da Gasolina e do Etanol para a Situação Brasileira usando a técnica de Avaliação de Ciclo de Vida. **Anais. 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás.** Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

SAI, L. N. G.; LUNG, S. C.; KIN, C. L.; WING, K. C. Heavy metal contents and magnetic properties of playground dust in Hong Kong, **Environmental Monitoring And Assessment**, v.89, n. 3, December, p. 221-232, 2003.

SAIC - SCIENTIFIC APPLICATIONS INTERNATIONAL CORPORATION. **Life Cycle Assessment: Principles And Practice.** Cincinnati: EPA, 2006.

SALEM, V. Tingimento têxtil: fibras, conceitos e tecnologias/Vidal Salem. São Paulo: Blucher: Golden Tecnologia, 2010.

SALEM, V.; DE MARCHI, A.; MENEZES, F. G. **Beneficiamento Têxtil na Prática.** São Paulo: Golden Química do Brasil, 2005.

SANTOS, D.; GULYURTLU, I.; CABRITA, I. **Materiais e Energia: Conversão Termoquímica de Combustíveis.** **Corros. Prot. Mater.** 2010, vol.29, n.3, p. 78-90.

SANTOS, M. R.; SOUZA, M. T. S.; TEIXEIRA, C. E. **Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): uma análise da produção acadêmica em eventos brasileiros Qualis administração no período 2000-2010.** XIV Encontro Nacional de Gestão Empresarial e Meio Ambiente - ENGEMA, São Paulo, 2012.

SANTOS, S. Impacto Ambiental causado pela Indústria Têxtil. UFSC - Engenharia de Produção e Sistemas – PPGEP. **Anais – ENEGEP.** Trindade SC. 1997.

SÃO PAULO. Secretaria de Meio Ambiente. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo.** São Paulo: Cetesb, 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/variaveis.pdf>>. Acesso em: 15.09.13.

SILVA, T.L.; BARBOSA, P.P.; PADILHA, D.; ANGELIS NETO, G. Avaliação comparativa dos impactos ambientais gerados na fiação de fibras acrílicas e algodão. **Anais - III Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços.** Maringá, 2012.

SINDITEXTIL – SP. **Sindicato das Indústrias de Fiação e Tecelagem no Estado de São Paulo.** Disponível em <<http://www.sinditextilsp.org.br>> Acesso em: 05 jan. 2013.

SOARES, C. P. P. S.; Avaliação do teor de manganês em alimentos procedentes do município de Simões Filho – BA. Programa de pós-graduação em ciência de alimentos. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2009.

SOARES, J. S. **Remoção de Corantes Têxteis por adsorção em carvão mineral ativado com alto teor de cinzas**. 1998. 100f. Dissertação (Mestrado). Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY (SETAC); UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM (UNEP). Por qué adoptar un enfoque de ciclo de vida. Genebra: SETAC e PNUD, 2007.

SOUZA, C. R. L. **Degradação de corantes reativos e remediação de efluentes têxteis por processos avançados envolvendo ferro metálico**. 2006. 100f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Química. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

STEINBERGER, J. K.; FRIOT, D.; JOLLIET, O.; ERKMAN, S. **A spatially explicit life cycle inventory of the global textile chain**. Int J Life Cycle Assess. 2009. Recebido: 19 de junho de 2008 / Aceito: March 29, 2009 / Publicado on line em: 13 de maio de 2009.

TRAJANO, L. **Avaliação do Ciclo de Vida dos produtos derivados do cimento para habitações de interesse social**. 2010. 98f. (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco. Recife, 2010.

TWARDOKUS, R. G. **Reuso de água no processo de tingimento da indústria têxtil**. 2004. 136 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

UEDA, A. C. **Aplicação de micelas reversas na remoção de corantes têxteis catiônicos**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2006.

WILLIAMS, A.S. **Life Cycle Analysis: a step by step approach**. Illinois Sustainable Technology Center. Institute of Natural Resource Sustainability. University of Illinois at Urbana- Champaign. Dezembro, 2009.