

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

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DO  
SETOR TÊXTIL POR MEIO DA ACV (AVALIAÇÃO  
DO CICLO DE VIDA)  
ESTUDO DE CASO: CALÇA JEANS**

**AMELIA MASAE MORITA**

**Maringá**  
Fevereiro de 2013

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

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DO  
SETOR TÊXTIL POR MEIO DA ACV (AVALIAÇÃO  
DO CICLO DE VIDA)  
ESTUDO DE CASO: CALÇA JEANS**

**Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia Química.**

Autora: Amelia Masae Morita

Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos

Orientador: Prof. Dr. Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani

**Maringá**

Fevereiro de 2013

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

M862 a Morita, Amelia Masae  
Avaliação de impactos ambientais do setor têxtil  
por meio da ACV (Avaliação do ciclo de vida) -  
estudo de caso: calça jeans / Amelia Masae Morita. -  
- Maringá, 2013.  
139 f. : il. col., figs., tabs., + anexos

Orientador: Prof. Dr. Mauro Antonio da Silva Sá  
Ravagnani.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual de  
Maringá, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Química, 2013

1. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) - Calça  
jeans. 2. Impacto Ambiental - Avaliação do Ciclo de  
Vida (ACV) - Calça jeans. 3. Tecnologia têxtil. I.  
Ravagnani, Mauro Antonio da Silva Sá, orient. II.  
Universidade Estadual de Maringá. Centro de  
Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Química. III. Título.


CDD 21.ed. 677

MN-003322

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

Esta é a versão final da Tese de Doutorado apresentada por Amelia Masae Morita perante a Comissão Julgadora do Curso de Doutorado em Engenharia Química em 15 de fevereiro de 2013.

COMISSÃO JULGADORA

  
Prof. Dr. Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani  
Orientador / Presidente

  
Prof. Dr. Luiz Alexandre Kulay  
Membro

  
Profª Drª Olívia Toshie Oiko  
Membro

  
Prof. Dr. Esdras Penêdo de Carvalho  
Membro

  
Prof. Dr. Paulo Roberto Paraíso  
Membro

*DEDICO aos meus pais TOKINAKA MORITA (in  
memoriam) e JULIA MORITA.  
Meu pai pelo profissionalismo e competência e  
minha mãe pela coragem e dedicação.*

## AGRADECIMENTOS

*Aos meus pais Tokinaka e Julia Morita pela educação, incentivo e compreensão em todos os momentos.*

*À minha irmã Regina pelo apoio e incentivo.*

*Ao Prof. Dr. Mauro A. da S. Sá Ravagnani, pela confiança, orientação, paciência, acompanhamento e revisão deste trabalho.*

*Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá, por todos os ensinamentos.*

*Ao Departamento de Engenharia Têxtil pela oportunidade de realização deste trabalho.*

*À minha amiga Prof<sup>a</sup> Elaine Maia pela amizade, carinho, atenção, auxílio e incentivo.*

*À Prof<sup>a</sup> Andréia Bortoluzzi, ao Prof<sup>o</sup> Ronaldo Vasques, e ao Sr. Darcí Tavares pelo auxílio na coleta de dados.*

*Aos meus amigos, Daniel Zampieri, Eder Gimenes, Inez Pardim, Maria Celenei de Oliveira e Mariceli Pineda pelo carinho, presença, amizade e apoio.*

*A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.*

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMO</b>	<b>xiii</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>xv</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2. ESTADO DA ARTE</b>	<b>5</b>
2.1. INTRODUÇÃO AOS IMPACTOS AMBIENTAIS	5
2.2. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)	7
2.2.1. Aplicações da ACV	9
2.3. ACV NA ÁREA TÊXTIL	10
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGIA</b>	<b>23</b>
3.1. ASPECTOS METODOLÓGICOS DA ACV	23
3.2. DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO	23
3.3. ANÁLISE DO INVENTÁRIO	26
3.4. AVALIAÇÃO DE IMPACTO	28
<b>CAPÍTULO 4. PRODUÇÃO DE CALÇA JEANS</b>	<b>51</b>
4.1. INTRODUÇÃO	51
4.2. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS	52
4.2.1. MATÉRIA-PRIMA (FIBRAS)	52
4.2.2. FIAÇÃO	54
4.2.3. BENEFICIAMENTO	55
4.2.4. TECELAGEM	57
4.2.5. CONFECÇÃO	58
4.2.6. ACABAMENTO (LAVAGEM)	59

4.2.7. BALANÇO MATERIAL _____	60
<b>CAPÍTULO 5. ESTUDO DE CASO _____</b>	<b>62</b>
5.1. OBJETIVO E ESCOPO DO ESTUDO _____	62
5.2. ANÁLISE DE INVENTÁRIO _____	69
<b>CAPÍTULO 6. RESULTADOS e DISCUSSÕES _____</b>	<b>76</b>
6.1. CARACTERIZAÇÃO _____	76
6.2. NORMALIZAÇÃO _____	113
6.3. MUDANÇA DE CENÁRIO PARA A ENERGIA TÉRMICA _____	114
<b>CAPÍTULO 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS _____</b>	<b>119</b>
7.1. CONCLUSÕES _____	119
7.2. ESTUDOS FUTUROS _____	122
<b>REFERÊNCIAS _____</b>	<b>123</b>
<b>ANEXOS _____</b>	<b>128</b>



## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Exemplo de um Ciclo de Vida (baseado na ISO 14040:2006)</i>	8
<i>Figura 2 - Descrição do sistema de produção das fibras artificiais celulósicas: (a) planta integrada polpa – fibra e (b) produção separada polpa e fibra.</i>	15
<i>Figura 3 - GWP 100a (gases de efeito estufa em um horizonte de tempo de 100 anos) desde a extração até o acabamento de uma tonelada de fibra.</i>	16
<i>Figura 4 - Fases da Avaliação do Ciclo de Vida (baseado em ABNT NBR ISO 14040:2009)</i>	23
<i>Figura 5 - Mapa de procedimentos para a análise de inventário baseado na ISO 14044:2006</i>	27
<i>Figura 6 - Modelo harmônico midpoint – endpoint baseado em Goedkoop, et al, 2009</i>	30
<i>Figura 7 - Balanço de massa da fiação de algodão</i>	55
<i>Figura 8 - Balanço de massa do Beneficiamento / Tecelagem</i>	58
<i>Figura 9 - Balanço de massa da confecção da calça jeans</i>	59
<i>Figura 10 - Balanço de massa da Lavanderia</i>	60
<i>Figura 11 - Fronteira da produção da calça jeans</i>	63
<i>Figura 12 - Fronteiras do subsistema de produção do algodão</i>	65
<i>Figura 13 - Fronteiras do subsistema de fiação (produção do fio)</i>	66
<i>Figura 14 - Fronteiras do subsistema de produção do tecido (beneficiamento / tecelagem)</i>	66
<i>Figura 15 - Fronteiras do subsistema de produção da calça jeans (confecção)</i>	67
<i>Figura 16 - Fronteiras do subsistema de acabamento da calça jeans</i>	67
<i>Figura 17 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Mudança Climática</i>	77
<i>Figura 18 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Mudança Climática na produção da matéria-prima (algodão)</i>	79
<i>Figura 19 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Depleção do Ozônio</i>	80

<i>Figura 20 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Depleção do Ozônio na produção da matéria-prima (algodão)</i>	81
<i>Figura 21 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Depleção do Ozônio no beneficiamento / tecelagem</i>	82
<i>Figura 22 - Resultados da caracterização “Midpoint” e “Endpoint” da categoria de impacto Toxicidade Humana</i>	83
<i>Figura 23 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Toxicidade Humana no acabamento (lavanderia)</i>	84
<i>Figura 24 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Toxicidade Humana no beneficiamento / tecelagem</i>	84
<i>Figura 25 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Ecotoxicidade Terrestre</i>	85
<i>Figura 26 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Ecotoxicidade Terrestre na produção da matéria-prima (algodão)</i>	86
<i>Figura 27 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Ecotoxicidade Terrestre no acabamento (lavanderia)</i>	87
<i>Figura 28 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Ecotoxicidade de água doce</i>	88
<i>Figura 29 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Ecotoxicidade de água doce na produção da matéria-prima (algodão)</i>	89
<i>Figura 30 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Formação de Oxidante Fotoquímico</i>	90
<i>Figura 31 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Formação de Oxidante Fotoquímico na produção de matéria-prima (algodão)</i>	91
<i>Figura 32 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Formação de Oxidante Fotoquímico no beneficiamento / tecelagem</i>	92
<i>Figura 33 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Formação de Oxidante Fotoquímico no acabamento</i>	92
<i>Figura 34 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Formação de Material Particulado</i>	93

<i>Figura 35 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Formação de Material Particulado na produção de matéria-prima (algodão)</i>	94
<i>Figura 36 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Formação de Material Particulado no beneficiamento / tecelagem</i>	95
<i>Figura 37 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Formação de Material Particulado no acabamento</i>	95
<i>Figura 38 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Acidificação Terrestre</i>	97
<i>Figura 39 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Acidificação Terrestre na produção da matéria-prima (algodão)</i>	98
<i>Figura 40 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Eutrofização de Água Doce</i>	99
<i>Figura 41 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Eutrofização de Água Doce na produção da matéria-prima (algodão)</i>	100
<i>Figura 42 Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Eutrofização de Água Doce no beneficiamento / tecelagem</i>	100
<i>Figura 43 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Eutrofização de Água Doce no acabamento (lavanderia)</i>	101
<i>Figura 44 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Ocupação de Terras Agrícolas</i>	102
<i>Figura 45 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Ocupação de Terras Urbanas</i>	103
<i>Figura 46 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Ocupação de Terras Urbanas na produção da matéria-prima</i>	104
<i>Figura 47 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Ocupação de Terras Urbanas no beneficiamento / tecelagem</i>	105
<i>Figura 48 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Ocupação de Terras Urbanas no Acabamento</i>	105
<i>Figura 49 - Resultados de caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Transformação de Terras Virgens</i>	107

<i>Figura 50 - Resultados da caracterização Midpoint da categoria de impacto Depleção da Água</i>	108
<i>Figura 51 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Depleção de Recursos Minerais</i>	109
<i>Figura 52 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Depleção de Recursos Fósseis</i>	110
<i>Figura 53 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Depleção de Recursos Fósseis na produção da matéria-prima (algodão)</i>	111
<i>Figura 54 - Resultados de caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Depleção de Recursos Fósseis no beneficiamento / tecelagem</i>	112
<i>Figura 55 - Resultados da caracterização Midpoint e Endpoint da categoria de impacto Depleção de Recursos Fósseis no acabamento</i>	112
<i>Figura 56 - Resultados da normalização Midpoint para a calça jeans</i>	114
<i>Figura 57 - Resultados da caracterização midpoint, em %, e referentes à mudança de cenário no setor de acabamento (lavanderia)</i>	115
<i>Figura 58 - Resultados da caracterização midpoint, em %, e referentes à mudança de cenário no setor de beneficiamento / tecelagem</i>	116
<i>Figura 59 - Resultados da caracterização midpoint da calça jeans, em %, e referentes à mudança de cenário</i>	117
<i>Figura 60 - Resultados da normalização midpoint da calça jeans, em %, e referentes à mudança de cenário</i>	118

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - A contribuição (em %) dos processos (produção de inputs, produção e uso de diesel, emissões do cultivo) de produção da fibra de cânhamo nas categorias de impacto.</i>	11
<i>Tabela 2 - Impactos ambientais da produção do fio expresso em 100 kg de fio para os cenários investigados</i>	13
<i>Tabela 3 - Avaliação dos impactos ambientais desde a extração da fibra até o acabamento de uma tonelada de fibra , método CML 2 baseline.</i>	18
<i>Tabela 4 - Resultados do consumo de energia não renovável, emissões de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PMs e SO<sub>2</sub> por 100 dias de uso da camiseta (Cam) produzida na Índia e da jaqueta (Jaq) produzida na China.</i>	20
<i>Tabela 5 - Categorias de impacto Midpoint</i>	31
<i>Tabela 6 - Categorias de impacto Endpoint</i>	31
<i>Tabela 7 - Fatores de caracterização endpoint para a mudança climática</i>	35
<i>Tabela 8 - Fatores de caracterização para a depleção do ozônio</i>	36
<i>Tabela 9 - Fatores de caracterização para a acidificação terrestre</i>	37
<i>Tabela 10 - Fatores de caracterização para a eutrofização de água doce</i>	38
<i>Tabela 11 - Fatores de caracterização para a formação de oxidante fotoquímico.</i>	42
<i>Tabela 12 - Fatores de caracterização para a formação de material particulado</i>	42
<i>Tabela 13 - Fatores de caracterização de alguns tipos de atividades de uso da terra (banco de dados do ecoinvent)</i>	44
<i>Tabela 14 - Fatores de caracterização Midpoint e Endpoint para a transformação de terra</i>	44
<i>Tabela 15 – Fatores de normalização</i>	49
<i>Tabela 16 - Composição da fibra de algodão</i>	53
<i>Tabela 17–Balanço material da produção da calça Jeans</i>	61
<i>Tabela 18 - Dados de inputs / outputs por 1 tonelada de algodão em pluma</i>	71
<i>Tabela 19 - Dados de inputs/outputs por 1 tonelada de fio</i>	72
<i>Tabela 20 - Dados de inputs/outputs por 1 metro de tecido</i>	73

<i>Tabela 21 - Dados de inputs/outputs por 1 calça jeans</i>	74
<i>Tabela 22 - Dados de inputs/outputs por 1 calça jeans</i>	75
<i>Tabela 23 – Exemplo da planilha para coleta de dados</i>	129
<i>Tabela 24 – Resultados da Caracterização Midpoint da matéria-prima</i>	130
<i>Tabela 25 – Resultados da Caracterização Midpoint da Fiação</i>	131
<i>Tabela 26 – Resultados da Caracterização Midpoint da Beneficiamento / Tecelagem</i>	132
<i>Tabela 27 – Resultados da Caracterização Midpoint da Confecção</i>	133
<i>Tabela 28 – Resultados da Caracterização Midpoint do Acabamento</i>	134
<i>Tabela 29 – Resultados da Caracterização Endpoint da matéria-prima</i>	135
<i>Tabela 30 – Resultados da Caracterização Endpoint da Fiação</i>	136
<i>Tabela 31 – Resultados da Caracterização Endpoint da Beneficiamento / Tecelagem</i>	137
<i>Tabela 32 – Resultados da Caracterização Endpoint da Confecção</i>	138
<i>Tabela 33 – Resultados da Caracterização Endpoint do Acabamento</i>	139

MORITA, A. M., **Avaliação de Impactos Ambientais do Setor Têxtil por meio da ACV (Avaliação do Ciclo de Vida) – Estudo de caso: Calça Jeans**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2013. 139p. Tese (doutorado em Engenharia Química)

## RESUMO

*O objetivo deste trabalho foi avaliar os impactos ambientais da produção da calça jeans, utilizando o método denominado Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). A ACV é uma técnica utilizada para o estudo dos impactos ambientais gerados por um produto ou processo, desde a retirada da matéria-prima até a disposição final. Estes impactos podem ser específicos como a eutrofização de um rio pelas emissões de uma indústria, ou globais, como o aquecimento global e diminuição da camada de ozônio. Os estudos foram conduzidos desde a extração da fibra até o acabamento da peça confeccionada e o fluxo de referência é a produção de uma calça jeans. Os resultados foram obtidos utilizando o software SimaPro 7<sup>TM</sup> e demonstraram que a produção da matéria-prima (algodão) e o uso de energia térmica nos setores de beneficiamento / tecelagem e acabamento causam os maiores impactos na produção de calça jeans. As categorias de impacto mais influenciadas na produção de algodão foram a mudança climática, depleção do ozônio, ecotoxicidade terrestre e de água doce, formação de oxidante fotoquímico e formação de material particulado, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, uso de terras agrícolas, depleção de recursos minerais e fósseis, enquanto as categorias toxicidade humana e uso de terras urbanas são influenciadas pelos setores de beneficiamento / tecelagem e acabamento. A categoria transformação de terras virgens é fortemente influenciada pelo uso de energia elétrica, principalmente no setor de Fiação. A redução destes impactos pode ser obtida aprimorando as técnicas de manejo de solo e diminuindo o uso de produtos químicos no cultivo do algodão, além de buscar alternativas energéticas e otimizar os processos de beneficiamento e acabamento. Apesar da falta de inventários*

*brasileiros sobre a geração de energia térmica e da produção de produtos químicos da área têxtil, o presente estudo identificou a área de produção da matéria-prima e os setores de tingimento e acabamento como os setores responsáveis pelos maiores impactos na produção de calça jeans. E as categorias de impacto mais relevantes foram a ecotoxicidade aquática e terrestre, a toxicidade humana e a eutrofização da água doce.*

*Palavras chave: Produto têxtil, ACV, Impactos Ambientais, Calça Jeans.*



MORITA, A. M., **Evaluation of environmental impacts of textiles through LCA (Life Cycle Assessment) – Case study: Jeans.** Maringá: State University of Maringá, 2013. 139p. Thesis (doctorate in Chemical Engineering.)

## SUMMARY

*The purpose of this study was evaluating the environmental impacts in jeans production using the method called Life Cycle Assessment (LCA). The LCA is a technique used to study the environmental impacts generated by a product or process, since the raw materials to final disposal. These impacts can be specific like eutrophication of a river by emissions of an industry, or global like global warming and ozone layer depletion. The studies were conducted from extraction of the fiber to the finished part and the reference flow is the production of a jeans. The results were obtained using software SimaPro7<sup>TM</sup> and they demonstrated that the production of raw material (cotton) and the use of thermal energy in dyeing / weaving and finishing cause the greatest impact in the production of jeans. The categories of impact most influenced by cotton production were climate change, ozone depletion, terrestrial ecotoxicity, freshwater ecotoxicity, photochemical oxidant formation and particulate matter formation, terrestrial acidification, freshwater eutrophication, agricultural land occupation, minerals depletion and fossils depletion, while the categories human toxicity and urban land occupation are influenced by the sectors of dyeing / weaving and finishing. The category of virgin land transformation is strongly influenced by the use of electricity, mainly in the spinning. The reduction of these impacts can be obtained by improving the techniques of soil management and reducing the use of chemicals in the cultivation of cotton, besides seeking energy alternatives and optimize the processes of dyeing and finishing. Despite the lack of Brazilian's inventories on thermal power generation and the production of chemicals such as fertilizers and chemicals specific to the textile area, the present study identified the raw material production and dyeing and finishing sectors responsible for the major impacts of*

*jeans. In addition, the most significant impact categories were terrestrial and aquatic ecotoxicity, freshwater eutrophication and human toxicity.*

*Keywords: Textile Goods, LCA, Environmental Impacts, jeans.*

# CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais gerados pelas indústrias têxteis são amplamente conhecidos e alvos de constantes preocupações, principalmente com relação ao alto consumo de água e conseqüente geração de efluentes. Além disso, o uso de produtos químicos na produção de matérias-primas, como no cultivo de algodão, na fabricação de fios sintéticos (poliéster, poliamida etc.) e nos processos químicos para o tingimento e acabamento de produtos, são responsáveis por emissões de poluentes que afetam a água, o solo e o ar.

Certamente, os impactos negativos são significativos e comprometem a qualidade do ambiente e a saúde humana. A mudança climática, a redução da camada de ozônio e o aumento de casos de câncer são exemplos de como estes impactos já influenciam o meio ambiente.

Segundo BRAGA *et al* (2005), a tecnologia pode reverter situações críticas e estimar os impactos futuros, por meio de simulações com modelos físicos e matemáticos. Uma forma de melhorar o controle da degradação ambiental seria classificá-la em estruturais e não estruturais. As medidas estruturais são aquelas que envolvem a execução de obras, geralmente de custo elevado. As não estruturais são mais baratas e procuram prevenir ou controlar as causas dos problemas como, por exemplo, a mudança para combustíveis com menos resíduos poluidores e a necessidade de receita agrônômica para a aquisição de agrotóxicos.

A avaliação dos impactos ambientais pode ser realizada de diversas formas, como o método da análise multiobjetivo, os modelos de simulação, a superposição de cartas e a avaliação do ciclo de vida de produtos e serviços (ACV) (BRAGA *et al* 2005). Segundo GIANETTI e ALMEIDA (2006), a ACV pode ser um excelente método de avaliação de impacto, na busca pelo melhor acompanhamento dos ciclos e identificação de alternativas de interação entre processos.

O ciclo de vida de um produto abrange todas as etapas de produção do bem ou serviço. Por exemplo, por meio da ACV é possível avaliar todas as etapas (ou processos) envolvidas na obtenção de uma sacola de tecido e compará-la a uma sacola de plástico. Mas o principal objetivo da ACV é avaliar os produtos (bens e serviços) quanto à sua função, ou seja, levar em consideração a vida útil da sacola de tecido e quantas sacolas plásticas seriam necessárias para a mesma função.

O setor de geração e consumo de energia destaca-se nas pesquisas sobre a ACV, assim como seus impactos na produção e uso de produtos. As pesquisas buscam avaliar novas propostas de geração, ou a avaliação de fontes de energia já existentes como no caso de SANZ REQUENA *et al* (2011) que compararam os impactos causados na produção dos óleos de girassol, canola e soja, com o objetivo de introduzir estes biocombustíveis nos setores de transporte e geração térmica. De acordo com seus estudos, os óleos de canola e soja causariam menor impacto ambiental, pois o óleo de girassol ocupa grandes áreas para sua produção, aumentando os impactos causados pelos fertilizantes, herbicidas, etc. Em outro estudo MOUSAZADEH *et al* (2011) pesquisaram alternativas energéticas em tratores, comparando os impactos gerados pelo combustível fóssil (diesel) e pela energia híbrida elétrico-solar, e concluíram que o trator a diesel causa maior impacto ambiental, mas o custo de aquisição e manutenção é menor.

Na área têxtil, diversos estudos sobre ACV apontam o consumo e o tipo de geração de energia, como os principais causadores dos impactos ambientais (VAN DER WERF e TURUNEN, 2008; SHEN e PATEL, 2008; STEINBERG *et al*, 2009; SHEN *et al*, 2010). E além da geração e consumo de energia, o uso de agrotóxicos na produção de fibras naturais também contribui para estes impactos (MUTHU *et al*, 2012; VAN DER WERF, 2004).

Entretanto, estas pesquisas têm seu foco em países europeus, asiáticos e nos Estados Unidos, onde a forma de cultivo das fibras naturais e o consumo de energia nos diversos setores da área têxtil são diferentes.

Diante das considerações acima, este trabalho tem como objetivo avaliar e identificar o(s) setor(es) de maior impacto ambiental na produção de calça jeans, por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). E com o intuito de alcançar o objetivo proposto foram definidos cinco objetivos específicos, a saber: contextualizar as etapas do processo de produção de calça jeans; confeccionar um inventário, analisando dados de entrada (energia, materiais etc.) e saída (resíduos, produtos etc.) em todos os setores atrelados à produção; utilizar o software Simapro 7<sup>TM</sup> da Pré-consultants e o indicador ReCiPe 2008 para a avaliação dos impactos; avaliar todas as etapas de produção, desde a obtenção da matéria-prima (produção do algodão) até o acabamento, apontando as etapas de maior geração de impactos e, por fim, propor possíveis alternativas de redução destes impactos.

A tese está organizada em 7 capítulos descritos brevemente a seguir:

O Capítulo 2 apresenta e descreve, de forma geral, os impactos ambientais e a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). E de forma específica, os estudos realizados na área têxtil e relacionados à ACV.

O Capítulo 3 apresenta a metodologia adotada para a ACV do produto têxtil, como a definição de objetivo e escopo, os procedimentos para o desenvolvimento e análise do inventário. E a forma de avaliação dos impactos, considerando o indicador ReCiPe e descrevendo as etapas de definição dos fatores de caracterização *midpoint* e *endpoint* para as categorias selecionadas e os fatores de normalização *midpoint*.

O Capítulo 4 apresenta a introdução sobre a produção de calça jeans no Brasil e a descrição dos processos de produção, desde a obtenção da matéria-prima até o acabamento.

O Capítulo 5 apresenta o estudo de caso sobre a avaliação do ciclo de vida de calça jeans, o escopo do estudo que abrange o sistema e os subsistemas, a análise do inventário que inclui os dados coletados, a unidade funcional, as limitações e a qualidade dos dados.

O Capítulo 6 apresenta os resultados e discussões acerca dos impactos ambientais da produção de calça jeans, tanto da caracterização quanto da normalização.

O Capítulo 7 apresenta conclusões e sugestões para futuros trabalhos sobre a avaliação do ciclo vida de produtos têxteis.

Finalmente, são listadas as referências bibliográficas que foram citadas no trabalho. E em anexos encontram-se um exemplo de planilha para a coleta de dados e as planilhas com os resultados de todas as etapas de produção desde a extração da matéria-prima até o acabamento da calça jeans.

## **CAPÍTULO 2. ESTADO DA ARTE**

### **2.1. INTRODUÇÃO AOS IMPACTOS AMBIENTAIS**

Segundo estimativas da ONU (2011), a população mundial crescerá de 2010 até 2015 cerca de 1,1% ao ano, e a esta taxa de crescimento cabe questionar até quando os recursos naturais serão suficientes para sustentar este acréscimo populacional.

Os recursos naturais são os insumos que as populações e os ecossistemas necessitam para sua manutenção. Com o processamento e a utilização dos recursos naturais surge a poluição que é uma alteração indesejada nas características físicas, químicas e biológicas da atmosfera, litosfera e hidrosfera. A poluição é provocada pelo ser humano e causa impactos negativos na saúde humana e na de outras espécies, ou ainda deteriora materiais. Os efeitos globais da poluição podem trazer consequências que afetarão o clima e o equilíbrio global do planeta (BRAGA *et al*, 2005).

O desenvolvimento urbano e industrial desordenado, sem planejamento e sem limites, e o aumento populacional associado ao modelo de consumo inerente a uma sociedade mais “evoluída”, implicou na procura por alimentos, bens, serviços e espaço, e conseqüentemente o aumento da poluição e degradação ambiental. Esses níveis de degradação começaram a causar impactos negativos na qualidade do ar e na saúde humana (FERRÃO, 1998; BRAGA *et al* 2005; GIANNETTI e ALMEIDA, 2006).

As mudanças climáticas globais aceleraram as discussões em torno da questão do desenvolvimento industrial e do impacto ambiental. As indústrias sofrem constantes pressões para diminuir as emissões de poluentes na atmosfera por meio de processos, produtos e práticas ambientalmente corretas (AZAPAGIC, 1999; SOUSA, 2008). Os padrões ambientais se tornam mais rígidos e os custos de descarte aumentam (GIANNETTI e ALMEIDA, 2006). Por meio de métodos de planejamento, modelos matemáticos, equipamentos para controle de

poluição e o emprego de processos alternativos menos poluentes é possível corrigir ou, ao menos equacionar os problemas existentes. É possível, também, estimar com maior precisão e brevidade os efeitos e impactos de cenários hipotéticos futuros, por meio de simulações com modelos físicos e matemáticos. Entretanto existem limites que devem ser respeitados e a tecnologia é fundamental, mas não é capaz de resolver todos os problemas. Uma alternativa de grande valia nesse esforço seria a medida preventiva, para antecipar e impedir ou, ao menos minorar a ocorrência dos fatores de degradação. A medida preventiva é a mais adequada pelo lado econômico, pois é menos onerosa e evita danos, muitas vezes irreversíveis, ao meio ambiente (BRAGA *et al*, 2005).

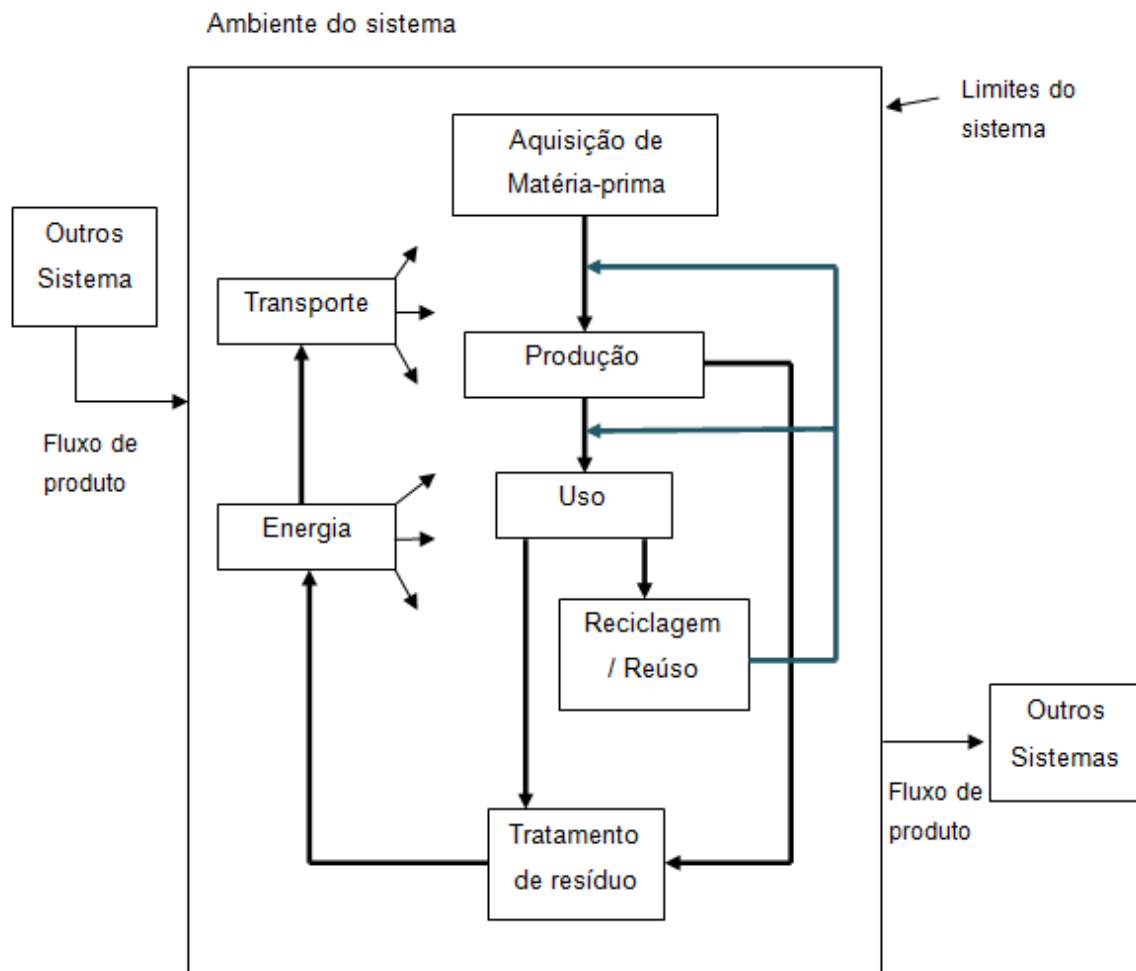
Na indústria têxtil, a reciclagem de produtos e otimização de processos são técnicas já empregadas para minimizar os rejeitos. Mas, segundo GIANNETTI e ALMEIDA (2006), estas práticas de minimização de rejeitos mostram-se insuficientes para lidar com o problema ambiental, fazendo-se necessário uma análise holística sobre os aspectos ambientais. E a ACV mostra-se adequada para a avaliação dos impactos ambientais, pois analisa qualquer tipo de impacto ambiental causado pelo produto, incluindo a extração de matérias-primas, emissão de substâncias tóxicas, utilização da terra etc.

Segundo BRAGA *et al* (2005), no Brasil e em muitos outros países, durante um longo período, o progresso era importante e a poluição, uma consequência aceitável; no entanto, décadas de degradação ao meio ambiente, os efeitos desta contaminação do ar, solo e água tem causado danos ao ecossistema e ao ser humano. A partir da década de 1970 as empresas brasileiras passaram a adotar medidas de prevenção da poluição. Mas somente na década de 1990 o sistema de gestão ambiental normalizado, com a série ISO 14.000, começou a ser adotada pelas indústrias. A série ISO 14.000, além de abordar os Sistemas de Gestão Ambiental (SGA), também normaliza a Avaliação do Ciclo de Vida (ISO 14.040, 14.044, 14.046, 14.047, 14.048 e 14.049), que tem como objetivo avaliar e identificar os impactos ambientais de produtos e serviços, desde a extração da matéria-prima até o descarte final.



## **2.2. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)**

O ciclo de vida de um produto corresponde a todas as etapas para a sua obtenção, desde a extração da matéria-prima, passando pela produção, uso, tratamento de resíduo, reciclagem, até a disposição final no ambiente (GIANNETTI e ALMEIDA, 2006). Para realizar uma avaliação ambiental envolvendo todo o ciclo de vida de um produto tem sido utilizada uma técnica denominada *Life Cycle Assessment* (LCA), ou Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). De acordo com a ISO 14040 (2006), a ACV aborda os aspectos ambientais e os potenciais impactos ambientais (por exemplo, uso de recursos e as consequências ambientais de emissões) ao longo do ciclo de vida de produtos, desde a aquisição de matérias-primas passando pela Figura 1).



**Figura 1 - Exemplo de um Ciclo de Vida (baseado na ISO 14040:2006)**

Segundo AZAPAGIC (1999), a ACV surgiu de estudos publicados em 1970 que consideravam apenas a energia consumida durante o ciclo de vida de um produto ou processo. Devido à necessidade de uma análise mais ampla, em 1990 a Society for Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) iniciou atividades para definir e desenvolver metodologias de estudos sobre a ACV e depois a International Organization for Standardisation (ISO) iniciou estudos similares e lançou a família 14.040 da série ISO 14.000 (AZAPAGIC, 1999; LIMA, 2007; RODRIGUES, *et al*, 2008; SOUSA, 2008).

Em alguns países como a Suécia, Holanda, Japão e Alemanha, a ACV tem sido estudada e aplicada por organismos governamentais, instituições de pesquisa, indústrias e pela academia (instituições de ensino). Já em outros

países, estes ficam restritos à academia e aos institutos de pesquisa. Muitos países, principalmente da Europa, já se preocupam em importar produtos com menor impacto ambiental, e esta é uma tendência que pode criar barreiras comerciais na exportação de produtos. No Brasil, os poucos estudos existentes estão concentrados na academia e nas indústrias (LIMA, 2007).

### **2.2.1. APLICAÇÕES DA ACV**

As principais aplicações da ACV são a identificação de pontos potenciais de melhoria de desempenho ambiental; comparação entre alternativas tecnológicas de melhoria de um dado produto; seleção de determinado produto para o atendimento de certa função levando-se em consideração seus pontos fortes e fracos, em termos ambientais; projeto de novo produto; e a escolha entre dois produtos similares em função de seus balanços ambientais. Sua importância consiste no fato de que, por meio dela, podem ser aferidos mecanismos de modificação ou desenvolvimento de um sistema a fim de diminuir seus impactos ambientais totais (AZAPAGIC, 1999; GIANNETTI e ALMEIDA, 2006).

A ACV pode ser empregada em organismos públicos ou privados das seguintes formas (AZAPAGIC, 1999):

- planejamento estratégico ou desenvolvimento de estratégias ambientais;
- otimização de produtos e processos, design e inovação;
- identificação de oportunidades para melhorias ambientais;
- marketing ambiental;
- criação de estrutura para auditorias ambientais.

Alguns dos mais recentes exemplos de aplicação da ACV nos setores privados ocorrem nos setores de energia, transportes, químico, nuclear, água, eletrônico, têxtil, papel, entre outras indústrias. Segundo dados de BAUMANN *apud* AZAPAGIC (1999) a principal razão para a adoção da ACV por uma indústria é a melhoria no desempenho ambiental por meio da análise do processo

do produto e implementação de políticas ambientais a curto e longo prazo por meio da otimização do processo ou projeto (AZAPAGIC, 1999).

### **2.3. ACV NA ÁREA TÊXTIL**

O setor têxtil brasileiro é o quinto maior do mundo. Em 2011 o faturamento da cadeia têxtil e de confecção foi de 67 bilhões de dólares. O setor é autossustentável em sua principal cadeia, a do algodão, com produção média anual de 1,5 milhão de toneladas, para um consumo de 900 mil toneladas. O setor de confecção é o quarto maior do mundo com uma produção média de 9,8 bilhões de peças (Associação Brasileira da Indústria Têxtil – ABIT, 2011).

A fabricação de um produto têxtil envolve vários processos que representam uma parte significativa dos impactos ambientais globais, pois são grandes consumidores de água, energia e produtos químicos. A água é utilizada em grande escala como solvente e como fonte de energia na geração de vapor nos processos de tingimento, estamparia e acabamento. Os setores de produção da fibra, beneficiamento e acabamento consomem, também, grandes volumes de combustíveis (lenha, gás ou óleo). Os produtos químicos como pesticidas, herbicidas, alvejantes, corantes etc. são utilizados desde a obtenção da matéria-prima até o uso final nas lavagens domésticas.

A cadeia têxtil é bastante ampla e abrange diversos setores como, fibras, fiação, beneficiamento, tecelagem, malharia, acabamento, não tecido e confecção.

Neste setor, alguns autores têm buscado identificar os processos ou produtos que causam maiores impactos ambientais.

VAN DER WERF (2004) estudou os impactos ambientais da produção de cânhamo. No estudo, apresentam-se diferenças entre o cultivo de cânhamo e do algodão. No cultivo do cânhamo não há a necessidade de uso intensivo de agrotóxicos, pois a planta é resistente a ervas daninhas e praticamente livre de pragas. Porém, é suscetível a fungos na região de estudo (França). Neste estudo,

não foram considerados os tratamentos de prensagem a óleo, decorticagem e digestão por pressão de vapor, o que coloca em dúvida a comparação com outras fibras naturais.

As categorias de impacto consideradas foram a eutrofização, mudança climática, acidificação, ecotoxicidade terrestre, uso de energia e uso da terra. Os fatores de caracterização foram calculados de acordo com diversos autores, e com o IPCC (*International Panel of climate change*). O autor busca identificar a contribuição dos processos (produção dos *inputs*, produção e uso do diesel, e emissões do cultivo) e pode-se observar (conforme Tabela 1) que a eutrofização é bastante influenciada pelas emissões do cultivo (90-95%). Na mudança climática, as emissões (38-41%) causam os maiores impactos, seguidos da produção de fertilizantes (25–34%), produção e uso de diesel (11%) e produção de CaO (6-13%). Já a acidificação é influenciada por emissões decorrentes de cultivo (33-38%), uso e produção de diesel (22-60%), produção de fertilizante N (12-14%), produção de fertilizante P (11%) e produção de máquinas agrícolas (11-13%). A Toxicidade terrestre foi impactada exclusivamente pelas emissões do cultivo da fibra. O uso de energia foi afetado pela produção de fertilizante N (28-36%), produção e uso de diesel (26-29%) e produção de máquinas agrícolas (18-21%).

**Tabela 1 - A contribuição (em %) dos processos (produção de *inputs*, produção e uso de diesel, emissões do cultivo) de produção da fibra de cânhamo nas categorias de impacto.**

Processos	Eutrofização (kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	Mudança Climática	Acidificação (kg SO <sub>2</sub> -eq)	Uso de energia
-----------	---	----------------------	--	-------------------

	eq)	(kgCO <sub>2</sub> - eq)		(MJ)
Produção de fertilizante N	1,0	24,6	11,8	28,1
Produção de fertilizante P	1,1	2,8	10,7	5,6
Produção de fertilizante K	0,1	2,6	2,2	9,8
Produção de CaO	0,2	13,1	3,3	8,5
Produção de Pesticidas	0	0	0	0
Produção de máquinas agrícolas	0,2	5,3	12,5	19,3
Produção e uso de diesel	2,7	10,5	26,2	28,7
Emissões do cultivo	94,7	41,1	33,3	-

Fonte: Van der Werf (2004)

O autor compara os impactos ambientais do estudo e os dados ambientais franceses e chega à conclusão que, devido à eutrofização ser o maior problema na França recomenda-se diminuir as emissões causadas pelos fertilizantes nitrogenados. Uma alternativa seria a otimização na utilização destes fertilizantes, associados à redução de atividades de preparo do solo.

Ainda, VAN DER WERF e TURUNEN (2008), pesquisaram os impactos ambientais da produção dos fios de cânhamo e de linho com o objetivo de quantificar os impactos ambientais. O estudo comparou três cenários para a produção de fios alvejados de cânhamo: o *hemp water retting* (HW), *hemp bio-retting* (HB) e *baby hemp*(BH) e um cenário para o linho: o *flaxdew hemp* (FD).

Neste estudo, a construção do inventário foi realizada com dados de um projeto denominado HEMP-SYS. Os dados de energia e transporte foram obtidos do banco de dados BUWAL 250. Os dados referentes à produção da fibra foram obtidos de artigos publicados anteriormente pelos autores. Os impactos foram alocados economicamente, pois é a principal razão para o cultivo da fibra

As categorias de impacto analisadas foram a eutrofização, mudança climática, acidificação, uso de energia não-renovável, ocupação de terras, uso de pesticidas e uso de água. Os fatores de caracterização da eutrofização, acidificação e energia não-renovável foram calculados de acordo com GUINÉE *et al* (2004). Para o cálculo do fator de caracterização referente à mudança climática utilizou-se o SimaPro 1.1. A ocupação terrestre refere-se à perda de terra como

recurso para outros propósitos. Além destas categorias de impacto avaliou-se a quantidade de substância ativa de pesticidas e água utilizadas no cultivo das fibras. Os resultados podem ser vistos na Tabela 2.

**Tabela 2 - Impactos ambientais da produção do fio expresso em 100 kg de fio para os cenários investigados**

Processos	Cânhamo			Linho (FD)
	HW	HB	BH	
Eutrofização (kg PO4-eq)	3,04	3,02	4,94	2,61
Mudança Climática (kg CO2-eq)	1.350	1.810	1.460	1.360
Acidificação (kg SO2-eq)	7,38	9,01	8,02	8,16
Uso de energia não-renovável (MJ)	25.500	35.800	26.500	26.100
Ocupação de terras	1.160	1.260	2.410	1.150
Uso de pesticidas	0	0	0,874	0,296
Uso de água	19,9	22,1	7,63	7,23

Fonte: Van der Werf e Turunen (2008)

Neste estudo, as discussões demonstram que as diferenças nos impactos dos processos são provenientes da diferença no consumo de energia, principalmente na maceração e secagem. Portanto, de acordo com os autores, às reduções do consumo de energia nos processos de extração da fibra remetem as reduções dos impactos ambientais na produção do fio, mais especificamente na redução da eutrofização na extração (cultivo) da matéria-prima (fibra). As alternativas seriam o melhoramento genético das plantas para aumentar a produção da fibra por hectare. Outro importante desenvolvimento seria na tecnologia empregada nos processos para a obtenção do fio, principalmente com o objetivo de minimizar o uso de energia.

Outro estudo conduzido para a avaliação dos impactos da produção de fibras têxteis foi realizado por SHEN *et al* (2010), que avaliou os impactos ambientais de fibras artificiais, utilizando a técnica de ACV. As fibras analisadas foram a viscose (produzidas na Ásia e na Áustria), o tencel e o modal, todas fibras celulósicas, mas com características e formas de processamento diferentes (ver Figura 2). O estudo foi conduzido desde a extração da fibra até o acabamento e

comparou os impactos ambientais dos diferentes tipos de processos das fibras artificiais. Além disso, os autores comparam os impactos da produção das fibras artificiais com a produção do algodão (produzido nos Estados Unidos e na China), poliéster e polipropileno.



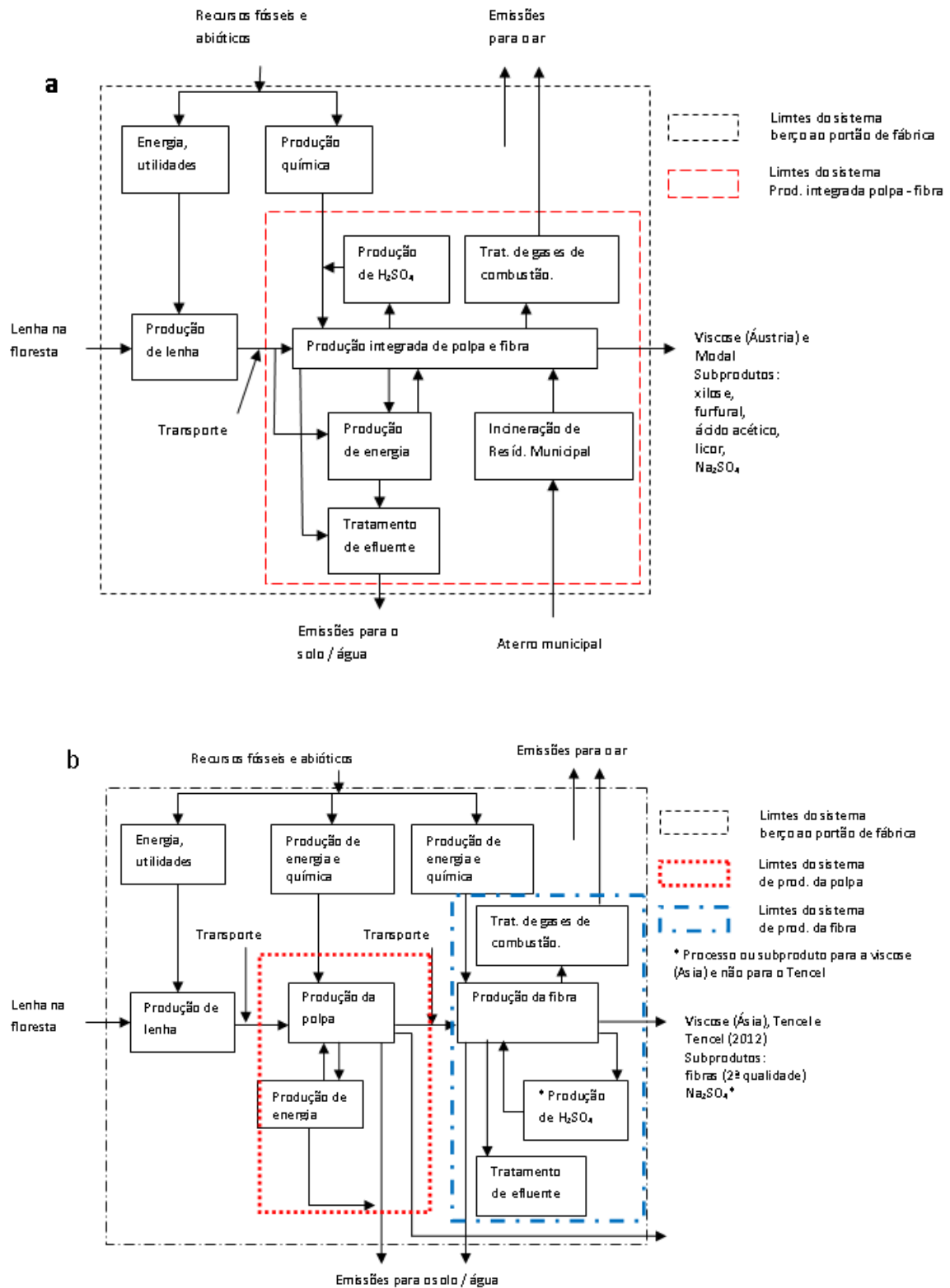


Figura 2 - Descrição do sistema de produção das fibras artificiais celulósicas: (a) planta integrada palpa – fibra e (b) produção separada palpa e fibra.

A metodologia adotada para a avaliação de impactos ambientais foi CML 2 *baseline*, as categorias consideradas foram: aquecimento global, depleção abiótica, depleção da camada de ozônio, toxicidade humana, ecotoxicidade de água doce, ecotoxicidade terrestre, formação de oxidante fotoquímico, acidificação e eutrofização.

No caso do aquecimento global definiu-se um horizonte de tempo de 100 anos. Tal como aparece na Figura 3, todas as fibras artificiais celulósicas tiveram menor impacto do que o poliéster. Tencel, tencel (2012), modal e viscose (Áustria) tiveram resultados discretos em relação às outras fibras. Entretanto, segundo os autores, o desempenho da viscose produzida na Áustria apresenta incertezas quanto aos dados referentes à energia consumida, pois foi considerada a utilização da energia recuperada de uma planta de incineração de lixo. O valor negativo (Figura 3) de emissão de CO<sub>2</sub> equivalente da Viscose produzida na Áustria corresponde ao consumo de combustível fóssil evitado, devido a utilização do gás metano da planta de lixo.

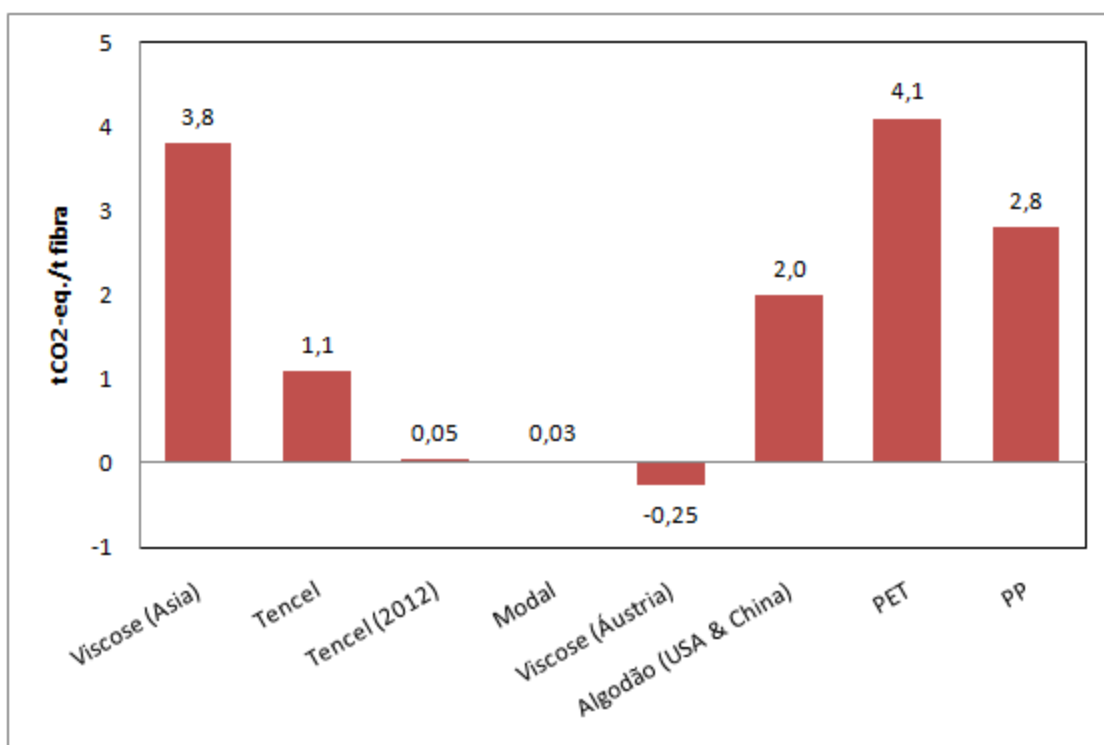


Figura 3 - GWP 100a (gases de efeito estufa em um horizonte de tempo de 100 anos) desde a extração até o acabamento de uma tonelada de fibra.

As emissões de CO<sub>2</sub> correspondem à energia consumida na produção da fibra e na produção de soda cáustica. Pode-se constatar que a utilização de caldeiras a gás nos processos de aquecimento e a substituição destes combustíveis mostram grande influência numa maior ou menor emissão de gases de efeito estufa.

A depleção abiótica é afetada pelo consumo de combustível fóssil na geração de energia. Portanto, as fibras que consomem grandes quantidades deste combustível em sua produção, como o poliéster e o polipropileno, demonstram maiores impactos nesta categoria. A depleção da camada de ozônio é influenciada pela utilização de óleo, ou mais especificamente, na emissão halogênica da produção de óleo cru. A fibra que utiliza maior quantidade deste tipo de energia no transporte, no processo e na geração de energia elétrica é a viscose produzida na Ásia.

Neste estudo, o poliéster é responsável pelos maiores impactos na toxicidade humana. Mais de 90% dos impactos provém da emissão de PAH (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos) no ar, durante a produção do poliéster. Na ecotoxicidade de água doce e terrestre, a obtenção de algodão causa os maiores impactos devido ao uso de pesticidas. O cultivo de algodão também causa grande impacto na eutrofização devido ao uso de fertilizantes.

Para as fibras artificiais as emissões de SO<sub>2</sub> são o principal fator de formação de oxidantes fotoquímicos. Especialmente, as emissões durante a produção do SO<sub>2</sub>, utilizado na produção da polpa celulósica, e as emissões de SO<sub>2</sub> durante a produção de energia.

A acidificação é causada, principalmente, pelas missões de SO<sub>2</sub>. Os impactos da Viscose (Áustria), Modal, Tencel e Tencel 2012 tem sua origem na produção da polpa celulósica da fibra. Os autores não comentaram as causas do alto valor de acidificação para o algodão.

Os resultados discutidos pelos autores podem ser observados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Avaliação dos impactos ambientais desde a extração da fibra até o acabamento de uma tonelada de fibra , método CML 2 baseline.**

	Algodão	PET	PP	Viscose (Asia)	Viscose (Austria)	Modal	Tencel	Tencel (2012)
Depleção Abiótica (kg Sb eq. / t)	17	45	42	40	14	18	20	7
Depleção da camada de ozônio (x10 <sup>-4</sup> kg CFC11 eq. / t)	2,0	0,7	0,7	2,8	0,3	0,4	1,1	0,7
Toxicidade Humana (kg DB eq. / t)	1,4 1.700	4.393	369	1.490	630	765	470	660
Ecotoxicidade água doce (kg DB eq. / t)	1,4 17.310	58	53	160	74	93	85	75
Ecotoxicidade terrestre (kg DB eq. / t)	1,4 1.568	12	12	16	11	16	5	5
Formação de oxidante fotoquímico (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq. / t)	0,7	1,0	0,6	1,8	0,5	0,5	0,6	0,4
Acidificação (kg SO <sub>2</sub> eq. / t)	41	21	11	45	14	15	17	13
Eutrofização (kg PO <sub>43</sub> -eq. / t)	22	1,2	1,0	2,3	1,2	1,3	1,8	1,9

Fonte: Shen *et al* (2010)

Outro estudo realizado por RUSSELL *apud* BLACKBURN (2009), aplicando a ACV para a avaliação dos impactos ambientais na produção de malhas de lã de carneiro (de origem Australiana), demonstra grande impacto na produção da matéria-prima. Segundo o autor, os elementos causadores deste alto impacto são a utilização de fertilizante nitrogenado na pastagem (emissões causadas na produção e comercialização dos fertilizantes), o N<sub>2</sub>O da urina dos carneiros e a utilização de energia no transporte. O autor compara as emissões da fibra de lã com a fibra de algodão e justifica a menor emissão de CO<sub>2</sub> na fase de uso da lã em relação ao algodão, devido às condições de uso da malha. No caso deste estudo, a malha é lavada com água morna e seca sem a utilização de secadores; por outro lado o algodão é lavado e seco utilizando temperaturas elevadas. O autor complementa que o tipo de energia é determinante na geração de CO<sub>2</sub>: a energia elétrica de origem nuclear, eólica e solar gera menos CO<sub>2</sub> do que a energia proveniente da queima de carvão.

Ao analisar as fibras têxteis, conclui-se que a região produtora e a forma de produção da energia utilizada nos processos influenciam sobremaneira os impactos ambientais. Como no caso da viscose produzida na Áustria e na Ásia, a diferença baseia-se no tipo de energia utilizada. Na Áustria utiliza-se energia renovável, já na Ásia a energia é gerada através da queima de carvão. Outro fator importante é a integração dos processos de produção da polpa e da fibra, como no caso do Modal, que resultou em impactos discretos devido ao baixo consumo de energia. Apesar do algodão não utilizar grandes quantidades de energia na sua produção, observa-se que este causa grandes impactos em diversas categorias de impacto, e este resultado é creditado ao uso intensivo de pesticidas e fertilizantes no cultivo da fibra.

Além dos estudos referentes às fibras têxteis, outros estudos sobre os impactos ambientais de camiseta produzida na Índia e de jaqueta de poliéster produzida na China foram realizados por STEIMBERG *et al* (2009). Neste estudo, foi analisado o ciclo de vida de camiseta, desde a produção do algodão até o uso final (na Alemanha), e de jaqueta, desde a produção da resina até o uso final (também na Alemanha). A unidade funcional para ambos os produtos foi de 100 dias de uso do produto. Embora as unidades funcionais sejam as mesmas, a fase de uso analisada é diferente para os dois produtos, a camiseta é lavada depois de usada duas vezes e a jaqueta é lavada seis vezes durante o ciclo de vida considerado.

Os resultados demonstram que com relação à camiseta, os impactos da energia primária não-renovável, emissões de CO<sub>2</sub>e PMS (Material particulado) foram maiores na fase de uso, 74%, 71% e 57%, respectivamente. Na fase de produção as emissões de NO<sub>x</sub> (76%), e SO<sub>2</sub> (67%) causaram os maiores impactos, como pode ser visto na Tabela 4. O autor ressalta que as emissões de NO<sub>x</sub> são expressivas na fase de produção da fibra e estão relacionadas ao uso de fertilizantes nitrogenados e na fase de tingimento da fibra está relacionada à queima de lenha nas caldeiras geradoras de energia. Cabe ressaltar que os maiores impactos na fase de uso estão relacionados ao consumo de energia na lavagem e secagem (utilizando energia para aquecimento na lavagem e

secagem). Em relação à jaqueta, os maiores impactos foram observados na fase de produção (ver Tabela 4).

Os autores concluíram que o local do estudo influencia sobremaneira nos resultados dos impactos, e sugeriram a criação de modelos de inventários adaptados aos diferentes países, e também a desagregação das emissões pela localização.

**Tabela 4 - Resultados do consumo de energia não renovável, emissões de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PMs e SO<sub>2</sub> por 100 dias de uso da camiseta (Cam) produzida na Índia e da jaqueta (Jaq) produzida na China.**

	Energia Primária (MJ)		CO2 (kg)		NOx (g)		PMs (g)		SO2 (g)	
	Cam	Jaq	Cam	Jaq	Cam	Jaq	Cam	Jaq	Cam	Jaq
Produção: Índia ou China	26%	71%	29%	72%	76%	88%	43%	85%	67%	92%
Matéria-prima	28,30	26,82	1,82	1,55	17,11	4,14	5,43	2,38	9,83	4,48
Fio	13,07	29,23	0,96	2,28	4,93	14,16	2,75	8,76	6,06	15,53
Tecido	2,56	52,92	0,16	3,54	0,96	11,82	0,46	6,55	0,99	20,54
Tecido Tinto	10,37	-	0,63	-	8,06	-	4,76	-	4,05	-
Roupa	2,23	1,46	0,08	0,11	0,50	0,73	0,12	0,46	0,26	0,77
Transporte	6,05	0,82	0,37	0,05	5,88	0,80	0,46	0,06	0,38	0,05
Resto do mundo	0,4%	1,2%	0,4%	1,1%	1,0%	3,8%	0,1%	0,7%	1,2%	2,6%
Transporte	0,85	1,84	0,05	0,11	0,51	1,36	0,05	0,15	0,38	1,18
Venda e Uso: Alemanha	74%	28%	71%	27%	23%	8%	57%	15%	31%	5%
Transporte	0,22	0,82	0,01	0,02	0,10	0,19	0,04	0,07	0,02	0,05
Lavagem (50 vezes)	62,16	14,92	3,48	0,78	4,25	0,98	10,89	1,19	3,87	0,90
Secagem (50 vezes)	114,23	27,41	6,44	1,55	6,60	1,58	7,70	1,85	6,18	1,48
Descarte	0,06	0,14	0,00	0,51	0,08	0,20	0,04	0,03	0,00	0,01

Fonte: Steinberger et al (2009)

A energia elétrica nos países pesquisados é produzida a partir de fontes não-renováveis (como o carvão) e uma das propostas dos autores é o investimento na produção de energias renováveis (como a eólica, por exemplo). Alguns fatores importantes desconsiderados neste estudo foram os impactos relacionados às emissões de CO<sub>2</sub> na geração da energia térmica à lenha no tingimento do algodão. Segundo os autores esta desconsideração justifica-se pela energia à lenha ser renovável. Outro ponto a ser observado é a quantidade de lavagens e a vida útil da camiseta. Não foram verificados estudos ou dados referentes à forma de utilização do vestuário.

Em um estudo sobre a manutenção de vestuário YAMAGUCHI *et al* (2011), avaliaram máquinas integradas de lavar e secar roupas, mas de tecnologias diferentes (convencionais e as que utilizam bombas de aquecimento), utilizou-se a média de dias chuvosos na região metropolitana de Tóquio de 99 dias no ano, para a determinação do período de uso da secadora. Este estudo demonstra, claramente, que o processo de secagem é responsável pela grande proporção de CO<sub>2</sub> equivalente emitido. Nos processos que usam a bomba de aquecimento há menor consumo de energia e de água, em comparação aos processos convencionais de lavagem e secagem. Com a unidade funcional referente a 9 anos de uso de uma máquina de lavar e secar, os resultados demonstraram que a lavadora-secadora convencional emite mais CO<sub>2</sub> equivalente do que a que utiliza a bomba de aquecimento. O estudo demonstra ainda, que a etapa de uso (com a utilização de detergente, água e eletricidade) causa grandes impactos na emissão de CO<sub>2</sub> equivalente e que a eletricidade usada na secagem é responsável por grande parte destas emissões. No caso da camiseta (100% algodão), por exemplo, as emissões de CO<sub>2</sub> equivalente na secagem convencional correspondem a 63% do total de emissões na fase de uso da camiseta. O estudo não trata, porém, de outros impactos ambientais, nem descreve a procedência da energia elétrica utilizada (proveniente de energia nuclear, térmica etc.).

Na área têxtil, muitas pesquisas têm sido realizadas buscando novas tecnologias para agregar funções aos produtos têxteis. Um exemplo é o acabamento antimicrobiano que utiliza prata associada à nanotecnologia. WALSER *et al* (2011) compararam os impactos ambientais da camiseta de poliéster sem tratamento e com acabamento antimicrobiano “Nanoprata” e triclosan e observaram que as camisetas com acabamentos antimicrobianos não alteraram substancialmente os impactos ambientais. Mas os resultados consideram apenas as emissões de CO<sub>2</sub> equivalente, sem levar em consideração outras categorias de impacto ou os impactos dos resíduos gerados após a aplicação deste produto na indústria de acabamento do tecido de malha. Outro fator analisado pelos autores foi o tipo de acabamento. Neste processo, a tecnologia de geração de emulsão por meio do plasma aumenta as emissões de CO<sub>2</sub> equivalente e de contaminantes diversos, expressos como 1,4 DCB

equivalente, na etapa de uso, devido à liberação dos resíduos de prata na água pós-lavagem.

De acordo com os estudos apresentados, os produtos químicos adicionados ao cultivo das fibras naturais e a energia utilizada nos processos de produção do material e no uso destes, são grandes causadores dos impactos ambientais. Aliás, um consenso entre os autores refere-se à racionalização da energia consumida nos processos de produção e uso dos materiais têxteis como a melhor alternativa para a diminuição dos impactos ambientais.



## CAPÍTULO 3. METODOLOGIA

### 3.1. ASPECTOS METODOLÓGICOS DA ACV

De acordo com a ABNT NBR ISO 14040:2009, a ACV inclui quatro fases que se inter-relacionam: definição de objetivo e escopo; análise do inventário dos processos envolvidos (envolvendo as entradas e saídas dos sistemas); avaliação dos impactos associados às entradas e saídas do sistema; e interpretação dos resultados das fases de inventário e avaliação, conforme ilustra a Figura 4.

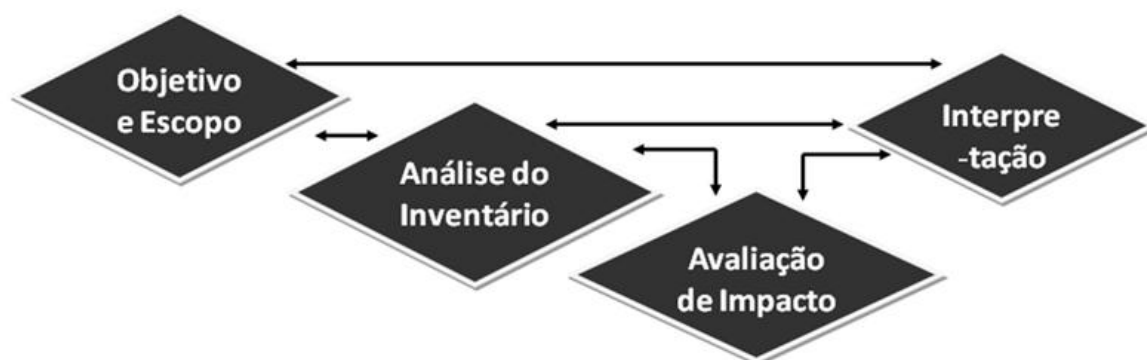


Figura 4 - Fases da Avaliação do Ciclo de Vida (baseado em ABNT NBR ISO 14040:2009)

### 3.2. DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO

Nesta etapa são definidos o objetivo, a abrangência e fronteiras, a unidade funcional, a metodologia e os procedimentos necessários para a garantia da qualidade do estudo (CHEHEBE, 1998).

Os objetivos devem ser definidos de forma clara, sem qualquer possibilidade de segunda interpretação, e consistentes com a aplicação pretendida. O escopo deve delinear todos os meios para que o objetivo seja alcançado. Ele deve ser suficientemente bem estabelecido para assegurar que a extensão (onde iniciar e terminar o estudo), a profundidade (nível de detalhes do

estudo) e a 'largura'(quantos e quais subsistemas incluir) sejam compatíveis para atender o objetivo estabelecido (SOUSA, 2008; LIMA, 2007).

Segundo a ABNT NBR ISO 14044:2009, na definição do escopo são considerados, de forma clara, o sistema do produto a ser estudado, a sua fronteira, os processos elementares (são os menores elementos com dados de entradas e saídas) e são estabelecidos a função, a unidade funcional, os fluxos de referência, os procedimentos de alocação, os requisitos dos dados, os pressupostos, e limitações. Além disso, considera a metodologia de AICV e tipos de impactos, a interpretação a ser utilizada e a escolha de valores e elementos opcionais.

A seguir estão especificados alguns dos itens citados no parágrafo anterior, segundo a ABNT NBR ISO 14044:2009:

**- sistema do produto**

O sistema é uma coleção de processos elementares, com fluxos elementares (material ou energia sem a prévia transformação humana) e de produtos, que representam uma ou mais funções definidas, e que modelam o ciclo de vida de um produto.

**- Função do sistema do produto**

A função de um sistema de produto compreende as características de desempenho do sistema.

**- Unidade funcional**

A unidade funcional define as quantificações das funções, ou as características de desempenho do produto. A princípio, o objetivo da unidade funcional é servir de referência para as quantidades de entradas e saídas do sistema. Entretanto, quando se faz necessário comparar dois sistemas para uma mesma função, necessita-se considerar um fluxo de referência (medidas requeridas para realizar a função expressa pela unidade funcional, relacionadas às saídas do processo). Por exemplo, para comparar a função de secar as mãos

utilizando toalhas de papel ou secadores de ar quente, necessita-se saber quantas toalhas ou a massa de ar necessária para secar as mãos, para poder comparar os dois sistemas.

#### **- Fronteira do sistema**

A fronteira define quais processos elementares serão incluídos no sistema. O ideal seria que os *inputs* fossem fluxos elementares. No entanto, não precisam ser gastos recursos na quantificação desses *input* e *outputs*, se estes não alteram significativamente as conclusões gerais do estudo. Mas, cabe ressaltar que a exclusão destes só poderá ser realizada após detalhada análise e interpretação do inventário, por se tratar de um processo iterativo. A escolha das unidades a serem consideradas depende do objetivo e escopo do estudo, suposições, restrições de dados e critérios de corte.

#### **- Alocação**

A alocação, sempre que possível, deve ser evitada. Mas caso não seja possível, então, as entradas e saídas do sistema devem ser divididas entre seus diferentes produtos ou funções de maneira que reflitam as relações físicas entre eles (por exemplo, alocação por massa, por volume, por unidade de energia etc.). Caso não seja possível alocar por meio de estas relações pode-se utilizar valores econômicos.

#### **- Limitações**

Segundo a ABNT NBR ISO 14040:2009, a limitação da Avaliação de Impacto Ambiental pode ser devido às limitações da fase de Inventário, como definição de fronteira que não englobe todos os processos elementares devido aos cortes e lacunas de dados, ou qualidade inadequada dos dados do inventário. Outra causa pode ser o desenvolvimento limitado dos modelos de caracterização, análise de sensibilidade e análise de incerteza da Avaliação de Impacto.

## - Qualidade dos dados

A exigência em qualidade de dados deve abordar o seguinte: cobertura temporal (idade dos dados e período mínimo de tempo durante o qual os dados deveriam ser coletados), geográfica (área geográfica de onde deveriam ser coletados os dados) e tecnológica (tecnologia específica ou conjunto de tecnologias). Além disso, deve-se buscar precisão, plenitude, representatividade, consistência, reprodutibilidade, fonte dos dados e incertezas das informações.

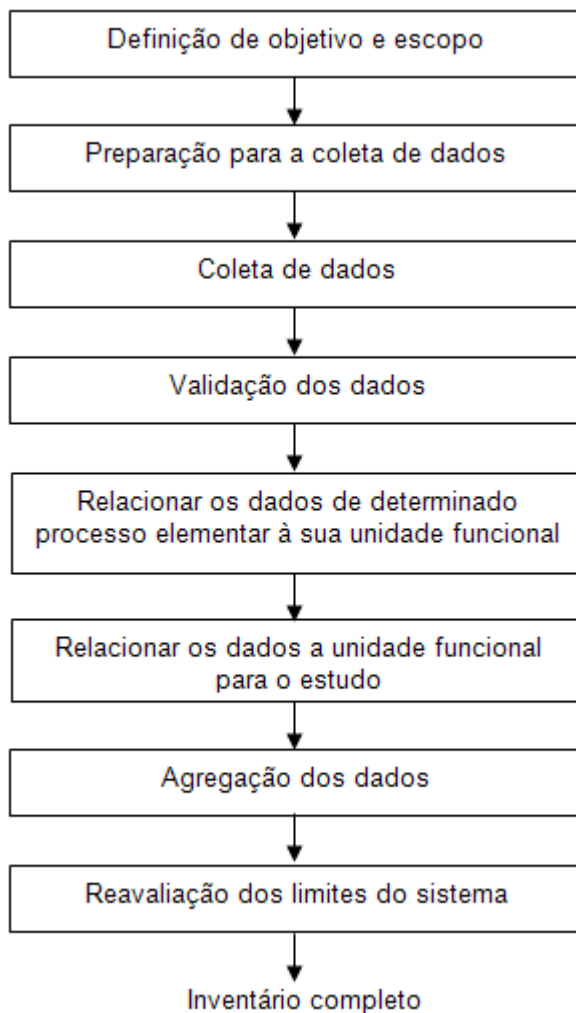
### **3.3. ANÁLISE DO INVENTÁRIO**

É a fase de planejamento, coleta e quantificação de todas as variáveis (matéria-prima, energia, transporte, emissões atmosféricas, efluentes líquidos, resíduos sólidos etc.) relacionadas com a ACV de um produto, processo ou serviço. Na prática, é difícil e trabalhoso de ser executada por uma série de razões, que vão desde a ausência de dados conhecidos e a necessidade de estimá-los, até a qualidade dos dados disponíveis. (SOUSA, 2008; LIMA, 2007; CHEHEBE, 1998).

Segundo a ABNT NBR ISO 14044:2009, a coleta de dados deve ser realizada para cada processo elementar, respeitando-se a fronteira do sistema. Os dados coletados, que foram medidos, calculados ou estimados, serão utilizados para quantificar os *inputs* e *outputs* do processo elementar. As entradas podem incluir dados referentes à energia, matéria-prima, produtos auxiliares e outras entradas físicas, mas não estão limitadas a esses aspectos. A saída pode incluir os produtos, coprodutos e resíduos, além de emissões para o ar, água e solo e outros aspectos ambientais.

As etapas de análise do inventário são: a preparação para a coleta de dados (confecção de questionários e/ou formulários), a coleta de dados (pode ser realizada por meio de medições locais ou em banco de dados), a validação dos dados (para confirmar sua qualidade), a ligação dos dados com o processo elementar e subsequentemente com a unidade funcional, a agregação dos dados

para a definição do inventário e o refinamento das fronteiras do sistema (revisão dos fronteiras do sistema por meio de análise de sensibilidade), conforme pode ser visto na Figura 5.



**Figura 5 - Mapa de procedimentos para a análise de inventário baseado na ISO14044:2006**

O questionário ou formulário é uma lista de fluxos e de dados dos processos elementares que compõem o sistema do processo e tem como objetivo demonstrar a natureza das informações. A elaboração de questionários e/ou formulários deve estar de acordo com as condições de operação relacionadas a cada processo elementar, ao objetivo e ao escopo do estudo.

### **3.4. AVALIAÇÃO DE IMPACTO**

Nesta fase, o sistema do produto é examinado sob uma perspectiva ambiental, relacionando os resultados da análise de inventário às categorias de impacto e transformando-os em resultados dos indicadores de categorias, ou ainda, em um índice ambiental único por sistema de produto avaliado (SOUSA, 2008; LIMA, 2007).

De acordo com a ABNT NBR ISO 14044:2009, esta fase deve incluir a seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização. E, também a classificação e caracterização dos impactos.

A classificação estabelece a correspondência entre um conjunto de intervenções ambientais (proveniente da tabela de inventário) e um conjunto de categorias ambientais. Esta correspondência é feita atribuindo pesos que ponderam a contribuição das intervenções nas categorias de impacto (FERRÃO, 1998).

Na fase de caracterização, as contribuições para cada problema ambiental são quantificadas, por meio de fatores de caracterização ou fatores de equivalência. Estes fatores indicam quanto uma determinada substância contribui para um determinado problema ambiental comparada a uma substância de referência. Por exemplo, no caso do efeito estufa, todas as intervenções ambientais são convertidas em equivalentes de CO<sub>2</sub> (CHEHEBE, 1998). Segundo a ISO 14044:2006, a caracterização envolve a conversão dos resultados do inventário em unidades comuns e a agregação dos resultados convertidos dentro da mesma categoria de impacto.

Na caracterização, os valores podem ser comparados entre duas alternativas, por exemplo, a utilização de algodão ou poliéster como matéria-prima. Entretanto, não é possível comparar a relevância de cada categoria no impacto ambiental do produto. Os escores dos impactos ambientais são expressos em unidades complexas, e não refletem diretamente as consequências

ambientais. A normalização vem a transformar os valores das diferentes categorias de impacto em uma única unidade, comparável. Por meio da normalização torna-se possível avaliar o impacto ambiental associado ao Ciclo de Vida de um produto ou serviço, com base numa referência.

A interpretação consiste na identificação e análise dos resultados obtidos nas fases de inventário e/ou avaliação de impacto de acordo com o objetivo e o escopo previamente definidos pelo estudo, o que possibilita alcançar conclusões e recomendações, e por fim, direcioná-las às partes interessadas (SOUSA, 2008; LIMA, 2007).

## **MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO**

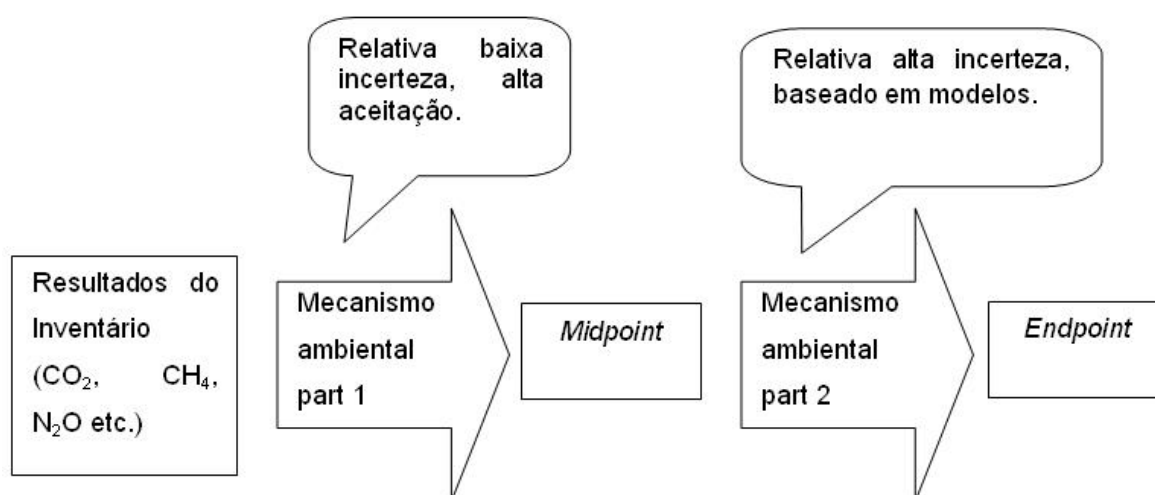
Os métodos para a avaliação de impacto podem ser divididos em dois grupos: métodos orientados ao problema (*midpoint*) e aos danos (*endpoint*). No método orientado ao problema, as cargas ambientais são agregadas de acordo com a sua contribuição relativa aos impactos ambientais, e são denominados *midpoint*. O modelo *endpoint* corresponde aos impactos das intervenções ambientais para "áreas de proteção", que incluem a saúde humana, ambiente natural e ambiente modificado pelo homem, ou seja, modelo orientado aos danos.

O método ReCiPe 2008 de AICV, bastante praticado pela comunidade internacional de ACV atualmente, oferece resultados para ambos os níveis *midpoint* e *endpoint*. Sua forma de tratamento de impactos ambientais decorre de dois métodos consagrados de AICV:

1. O método proposto como método básico para a caracterização no livro *Handbook on LCA* (GUINÉE *et al*, 2004) refere-se ao *midpoint*.
2. O método Eco-indicator 99 (GOEDKOOOP e SPRIENSMA, 1999) refere-se ao *endpoint*.

A Figura 6 mostra uma representação do modelo proposto por GOEDKOOOP *et al* (2009). Neste modelo e no caso da categoria de impacto mudança climática, os

resultados do inventário referentes a quantidade de gases de efeito estufa, por unidade funcional, são vinculados aos indicadores de categoria *midpoint* (força radioativa infravermelha), resultando em kg de CO<sub>2</sub> equivalente por unidade funcional. No que se refere aos pontos finais da categoria ou *endpoint*. Os resultados do inventário são vinculados aos efeitos da liberação de CO<sub>2</sub> equivalente no ambiente e seus danos à saúde humana expressa em DALY (Escala Ajustada de Anos de Inaptidão) e danos à qualidade do ecossistema expresso em perda de espécies. O método *midpoint* tem alta aceitação na comunidade científica, já o método *endpoint* possui relativa alta incerteza, pois é baseado em modelos de impacto final.



**Figura 6 - Modelo harmônico midpoint – endpoint baseado em Goedkoop, et al, 2009**

## CARACTERIZAÇÃO

Todos os modelos para a obtenção dos fatores de caracterização foram obtidos do Manual ReCiPe 2008 –*A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level* de GOEDKOOPE, et al (2009). Este método considera 18 categorias de impactos (Tabela 5) para o nível *midpoint* e 16 categorias de impacto (Tabela 6) para o *endpoint*.



**Tabela 5 - Categorias de impacto *Midpoint***

Categorias de Impacto	Unidade
Mudança climática	kg (CO <sub>2</sub> para o ar)
Depleção do ozônio	kg (CFC-11 <sup>1</sup> para o ar)
Acidificação terrestre	kg (SO <sub>2</sub> para o ar)
Eutrofização água doce	kg (Fósforo para a água doce)
Eutrofização marinha	kg (Nitrogênio para a água doce)
Toxicidade humana	kg (1,4-DCB <sup>2</sup> para o ar urbano)
Formação de oxidante fotoquímico	kg (NMVOC <sup>3</sup> para o ar)
Formação de material particulado	kg (PM10 <sup>4</sup> para o ar)
Ecotoxicidade terrestre	kg (1,4-DCB para o solo industrial)
Ecotoxicidade de água doce	kg (1,4-DCB para água doce)
Ecotoxicidade marinha	kg (1,4-DCB para água marinha)
Radiação ionizante	kg (U235 para o ar)
Ocupação de terras agrícolas	m <sup>2</sup> x ano (terras agrícolas)
Ocupação de terras urbanas	m <sup>2</sup> x ano (terras urbanas)
Transformação de terras virgens	m <sup>2</sup> (terras virgens)
Depleção de água	m <sup>3</sup> (água)
Depleção de recursos minerais	kg (ferro)
Depleção de recursos fósseis	kg (óleo)

<sup>1</sup> CFC-11 :Fluorclorocarbono; <sup>2</sup>1,4-DCB: 1,4 diclorobenzeno; <sup>3</sup>NMVOC: Compostos orgânicos voláteis não-metano; <sup>4</sup>PM10: material particulado < 10 µm

**Tabela 6 - Categorias de impacto *Endpoint***

	Categorias de Impacto	Unidade
Saúde Humana	Mudança climática- Saúde Humana	DALY <sup>1</sup>
	Depleção do ozônio	DALY
	Toxicidade humana	DALY
	Formação de oxidante fotoquímico	DALY
	Formação de material particulado	DALY
	Radiação ionizante	DALY
Ecossistemas	Mudança climática- Ecossistemas	Espécies / ano <sup>2</sup>
	Acidificação terrestre	Espécies / ano
	Eutrofização água doce	Espécies / ano
	Ecotoxicidade terrestre	Espécies / ano
	Ecotoxicidade de água doce	Espécies / ano
	Ecotoxicidade marinha	Espécies / ano
	Ocupação de terras agrícolas	Espécies / ano
Ocupação de terras urbanas	Espécies / ano	
Transformação de terras virgens	Espécies / ano	
Recursos	Depleção de recursos minerais	\$ <sup>3</sup>
	Depleção de recursos fósseis	\$

<sup>1</sup>DALY (*disability-adjusted loss of life years*): Escala Ajustada de Anos de Inaptidão

<sup>2</sup>Espécies /ano: perda de espécies durante 1 ano

<sup>3</sup>\$: aumento do custo

É evidente que os modelos de caracterização demonstram incertezas e refletem o conhecimento incompleto e incerto dos mecanismos ambientais envolvidos nas mudanças climáticas, acidificações, etc. O ReCipe apresenta três perspectivas. Essas perspectivas não pretendem representar os arquétipos do comportamento humano, mas são apenas usadas para agrupar tipos semelhantes de pressupostos e escolhas.

- Perspectiva individualista: baseada numa visão de curto prazo, tipos de impacto incontestáveis e otimismo tecnológico no que se refere a adaptação humana.
- Perspectiva hierárquica: baseada nas políticas mais comuns com relação a horizonte temporal e outras questões. (a escolhida neste estudo).
- Perspectiva igualitária: é a perspectiva que requer maior cautela, pois se refere a longo prazo e tipos de impacto que ainda não estão completamente estabelecidos.

### **- Mudança climática**

As mudanças climáticas estão associadas ao aquecimento global. O aumento na concentração dos gases de dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e clorofluorcarbono provocam um efeito estufa na atmosfera, aumentando a temperatura em decorrência da absorção do calor refletido ou emitido pela superfície do planeta (BRAGA, *et al*, 2005; HOLMES, *et al*, 1993).

Segundo o IPCC (*International Panel of climate change*) de 2007, As mudanças climáticas tem sua origem no desequilíbrio energético do sistema climático, que por sua vez é causado pela liberação de gases de efeito estufa, alterações da atividade solar e às propriedades da superfície do solo. Estas mudanças são expressas em termos de força radioativa que é usada para comparar as influências das atividades humanas e naturais no esfriamento ou

aquecimento do clima global. No indicador ReCiPe a mudança climática é analisada segundo a força radioativa das substâncias e o tempo de permanência destas, na atmosfera.

- *Midpoint*

Para o cálculo da quantidade de CO<sub>2</sub> liberados, usou-se fatores de equivalência do relatório do IPCC (*International Panel of climate change*) de 2007 como fatores de caracterização da categoria de impacto Mudanças Climáticas. Os fatores de equivalência são calculados de acordo com a Equação 1.

$$GWP_{x,T} = \frac{\int_0^T a_x \times [x(t)] dt}{\int_0^T a_r \times [r(t)] dt} \quad (1)$$

Nesta equação,  $GWP_{x,T}$  corresponde ao potencial de aquecimento global (*Global Warming Potentials*) da substância  $x, T$  é o horizonte de tempo considerado,  $a_x$  é a força de radiação referente a uma unidade da substância inserida na atmosfera,  $x(t)$  é a abundância da substância que é dependente do tempo. E o denominador da equação expressa a quantidade de gases de referência ( $r = \text{CO}_2$ ).

- *Endpoint*

- Danos à Saúde Humana

A relação entre a liberação e o efeito na temperatura de um certo fluxo de emissão de CO<sub>2</sub>, pode ser descrito pela Equação 2.

$$TF = LT_{CO_2} \times \frac{\Delta TEMP_t}{\sum_t E_{CO_2}} \quad (2)$$

Nesta equação,  $TF$  é o fator temperatura para 1kg de CO<sub>2</sub> em 1 ano,  $LT_{CO_2}$  o tempo de vida do CO<sub>2</sub> (ano),  $\Delta TEMP_t$  a mudança na temperatura média entre o ano de 2000 e a situação no ano  $t$  e  $E$  a massa anual de CO<sub>2</sub> (kg/ano).

O fator danos para a saúde humana devido a mudança climática pode ser descrita pela Equação 3.

$$DF_{HH} = \frac{\Delta Att.B_{tot}}{\Delta T} \quad (3)$$

Nesta equação,  $DF_{HH}$  é o fator de danos à saúde humana (DALY/ano. °C),  $\Delta T$  é a diferença marginal no aumento de temperatura entre os anos de 1990 e 2030, e  $\Delta Att.B_{tot}$  é a mudança marginal na possibilidade de desenvolvimento de doenças, para o cenário de 2030.

Considerando as equações 2 e 3, o fator de caracterização *endpoint* pode ser calculado pela Equação 4.

$$CF_{HH} = TF \times DF_{HH} \quad (4)$$

#### - Danos à diversidade do Ecossistema

O fator dano ao ecossistema leva em consideração mudanças marginais na temperatura e na fração de desaparecimento de espécies. O fator pode ser definido pela Equação 5.

$$DF_{ES} = \frac{\Delta PDF \times area \times SD_{terr}}{\Delta T} \quad (5)$$

Nesta equação,  $DF_{ES}$  corresponde ao fator dano ao ecossistema e  $\Delta PDF$  a mudança marginal no potencial de desaparecimento de uma fração da espécie,  $area$  é a área terrestre total, excluindo áreas sem espécies, e  $SD_{terr}$  é a densidade das espécies.

Portanto, com base na Equação 5, pode-se calcular o fator de caracterização *endpoint* para os danos à saúde humana e à diversidade do ecossistema, e os resultados estão na Tabela 7.

**Tabela 7 - Fatores de caracterização endpoint para a mudança climática**

Mudança Climática	Unidade	Saúde Humana	Ecosistema
Fator temperatura	(°C . ano / kgCO <sub>2</sub> )	1,064E-13	1,064E-13
Fator de danos	(kDALY / °C aumento de temperatura) 1 / °C	1,310E+04	75 E+6
Fator de caracterização	(DALY / kgCO <sub>2</sub> ) (Ano / kg CO <sub>2</sub> )	1,400E-06	8,73 E-6

Fonte: Goedkoop, *et al* (2009)

### - Depleção do ozônio

A camada de ozônio possui a capacidade de bloquear as radiações solares, especialmente a radiação ultravioleta. A excessiva exposição a radiação ultravioleta acarreta no aumento da incidência de câncer de pele, destrói ou inibe o crescimento de espécies vegetais, afetando o ecossistema terrestre. A emissão de CFC (clorofluorcarbono), destrói a camada de ozônio, pois este reage com o O<sub>3</sub>. Uma molécula de cloro destrói até 10.000 moléculas de ozônio (BRAGA *et al*, 2005)

A depleção do ozônio ocorre se as perdas de substâncias antropogênicas existentes na atmosfera aceleram a destruição da camada de ozônio. Nesta categoria de impacto, o fator de caracterização leva em consideração a emissão antropogênica das substâncias que destroem a camada de ozônio. O potencial de depleção do ozônio usa o CFC-11 como referência.

Existe um amplo consenso sobre a relação causal entre a radiação UV e várias formas de câncer de pele. O cálculo do fator de caracterização endpoint leva em consideração o decréscimo da mortalidade de seres vivos, após o interrompimento de emissões de substâncias causadoras da depleção da camada de ozônio. Ou seja, relaciona a extinção de seres vivos e a depleção da camada de ozônio.

Os fatores de caracterização midpoint e endpoint estão listados na Tabela 8:

**Tabela 8 - Fatores de caracterização para a depleção do ozônio**

Substâncias (ODS*)	Midpoint (kg CFC11 eq./ kg ODS*)	Endpoint(ano / kg ODS*)
CFC-11	1	1,76 E-3
CFC-113	1	1,76 E-3
CFC-114	0,94	1,65 E-3
CFC-115	0,44	7,73 E-4
CFC-12	1	1,76 E-3
HALON-1201	1,4	3,69 E-3
HALON-1202	1,3	3,43 E-3
HALON-1211	6	1,58 E-2
HALON-1301	12	3,17 E-2
HALON-2311	0,14	3,69 E-4
HALON-2401	0,25	6,60 E-4
HALON-2402	6	1,58 E-2
HCFC-123	0,02	7,30 E-5
HCFC-124	0,02	7,30 E-5
HCFC-141b	0,12	4,38 E-4
HCFC-142b	0,07	2,56 E-4
HCFC-22	0,05	1,83 E-4
HCFC-225ca	0,02	7,30 E-5
HCFC-225cb	0,03	1,10 E-4
Metilbrometo	0,38	1,80 E-3
Tetracloroeto de carbono	0,73	2,41 E-3
Tricloroetano	0,12	5,29 E-4

Fonte: Goedkoop *et al* (2009)

\*ODS = Ozone depletion substance

### **- Acidificação**

A deposição atmosférica de substâncias inorgânicas como os sulfatos, nitratos e fosfatos, causam mudanças na acidez do solo. Para todos os tipos de plantas existe um valor ótimo de acidez que, se ultrapassado, passa a ser nocivo, podendo levar à sua extinção.

#### *Midpoint*

#### -Fator de dano

O fator de dano da acidificação é dado pela Equação 6.

$$FF_x = \frac{\sum_j(\Delta BS_j \times A_j)}{\Delta M_x} \quad (6)$$

Nesta equação,  $FF_x$  é o fator de dano para a substância  $x$ ,  $\Delta BS_j$  a variação da emissão da substância  $x$  (kg/ano),  $A_j$  a dimensão de área  $j$  da floresta e  $\Delta M_x$  a variação da massa da substância  $x$ .

O fator de caracterização *midpoint* pode ser expresso pela Equação 7.

$$TAP = \frac{FF_x}{FF_{SO_2}} \quad (7)$$

Nesta equação,  $TAP$  é o potencial de acidificação terrestre e  $FF_x$  é o fator de dano da substância  $x$  e  $FF_{SO_2}$  o fator de dano do  $SO_2$ .

#### Endpoint

O fator de caracterização *endpoint* considera os efeitos e danos da substância acidificante em uma determinada área florestal. Para o cálculo do fator de caracterização considera-se o tamanho da área florestal e a média de população de seres vivos na área. O fator de caracterização pode ser calculado por meio de da seguinte equação:

$$CF_{endpoint,x} = SD_{terr} \cdot \sum_j A_j \cdot FF_{atm,j} \cdot FF_{soil,j} \cdot EF_j \quad (8)$$

Nesta equação,  $CF_{endpoint,x}$  é o fator de caracterização *endpoint* para a acidificação,  $SD_{terr}$  a densidade média das espécies terrestres (espécies/m<sup>2</sup>),  $A_j$  a dimensão de área  $j$  da floresta,  $FF_{atm,j}$  o fator de dano atmosférico,  $FF_{soil,j}$  o fator de dano ao solo e  $EF_j$  o fator de efeito. A Tabela 9 mostra os fatores de caracterização da acidificação terrestre.

**Tabela 9 - Fatores de caracterização para a acidificação terrestre**

Poluente	Midpoint (kg SO <sub>2</sub> equivalente)	Endpoint (ano/kg)
NH <sub>3</sub> para o ar	0,56	3,31 E-9
NO <sub>x</sub> para o ar	2,45	14,2 E-9
SO <sub>2</sub> para o ar	1,00	5,80 E-9

Fonte: van Zelm, R. et al (2007)

## - Eutrofização

A eutrofização aquática pode ser definida como o enriquecimento de nutrientes do ambiente aquático. O aumento na quantidade de nutrientes (fósforo e nitrogênio) contribui para a proliferação de algas e outros vegetais aquáticos. Este aumento, ao se tornar acelerado, causa efeitos negativos por impedir que as alterações morfológicas acompanhem seu ritmo. A fertilização das águas provoca a proliferação excessiva dos vegetais aquáticos, podendo ocorrer disputa pelo oxigênio da água com os peixes e conseqüente diminuição de sua população (BRAGA *et al*, 2005).

No ReCiPe a eutrofização é dividida em duas categorias de impacto a eutrofização marinha que leva em consideração o enriquecimento do nitrogênio e a eutrofização de água doce que considera o enriquecimento do fósforo. E baseia-se em POTTING e HACHID (2005) *apud* GOEDKOOOP *et al* (2009) que calcularam a fração de fluxos de emissão de N/P, que atualmente enriquecem rios e mares, utilizando o modelo de avaliação integrado CARMEN (*acronym for Cause effect Relation Model to support Environmental Negotiations*).

## - Eutrofização de água doce

No caso da Eutrofização de água doce considera-se os fatores de caracterização midpoint e endpoint. Este último, é calculado com base em dados referentes ao decréscimo de espécies e ao aumento da quantidade de fósforo em determinada área. A Tabela 10 mostra os fatores de caracterização *midpoint* e *endpoint* da eutrofização de água doce.

**Tabela 10 - Fatores de caracterização para a eutrofização de água doce**

Intervenção		Midpoint ano/km <sup>3</sup>	Endpoint Espécies.ano/kg
Tipo de emissão	Compartimento		
estrupe P	solo + ar	$1,72 \times 10^{-5}$	$2,22 \times 10^{-9}$
fertilizante P	solo + ar	$1,83 \times 10^{-5}$	$2,36 \times 10^{-9}$
P de Estação de Tratamento de Esgoto	água doce	$3,44 \times 10^{-4}$	$4,44 \times 10^{-8}$



Fonte: Goedkoop, *et al* (2009)

### - Toxicidade

O fator de caracterização da toxicidade humana e ecotoxicidade considera a persistência no meio ambiente (destino), a acumulação na cadeia alimentar humana (exposição) e toxicidade (efeito) de uma substância química.

O 1,4 – diclorobenzeno foi usado como a substância de referência.

### - Toxicidade Humana

#### -Midpoint

O fator de caracterização *midpoint* para a toxicidade humana inclui o fator de destino e exposição. O fator de destino pode ser obtido segundo a equação 9.

$$iF_{r,i,x,g} = \frac{\partial I_{r,x,g}}{\partial M_{i,x}} \quad (9)$$

Nesta equação,  $iF_{r,i,x,g}$  representa a fração de ingestão pela população humana de determinada região  $g$ , considerando a rota de ingestão  $r$  (inalação, ingestão via consumo de peixes etc.) da substância  $x$  do compartimento de emissão  $i$  ( ar urbano, ar rural, rios, mares, solo agrícola, solo industrial e solo virgem), e  $\partial I_{r,x,g}$  é a mudança marginal na ingestão da substância  $x$  pela população humana via rota de ingestão  $r$  (kg/dia) na escala  $g$  . O fator de exposição e efeito químico de uma substância específica na toxicidade humana, pode ser obtido por meio da Equação 10.

$$F_{e,x} = \frac{\partial TU_e}{\partial I_x} \quad (10)$$

Nesta equação,  $TU_e$  representa a incidência de doenças e  $I_x$  é a mudança marginal na ingestão da substância  $x$  .

- *Endpoint*

O fator de caracterização para a toxicidade humana pode ser calculada de acordo com a Equação 11.

$$CF_{r,i,x,g,c/nc} = F_{r,i,x,g} \cdot E_{r,x,c/nc} \quad (11)$$

Nesta equação,  $CF_{r,i,x,g,c/nc}$  representa o fator de caracterização humana para efeitos carcinogênicos e não carcinogênicos na escala  $g$ , que leva em consideração o transporte da substância  $x$  via rota de ingestão  $r$  (ingestão, inalação) da emissão do compartimento  $i$  (ano/kg),  $F_{r,i,x,g}$  representa a fração de ingestão pela população humana de determinada região  $g$ , considerando a rota de ingestão  $r$  (inalação, ingestão via consumo de peixes etc.) da substância  $x$  do compartimento de emissão  $i$  ( ar urbano, ar rural, rios, mares, solo agrícola, solo industrial e solo virgem) e  $E_{r,x,c/nc}$  representa o fator de dano e efeito da substância  $x$  inalada via rota  $r$  em termos de perda ou desajuste dos anos de vida por kg dos efeitos carcinogênicos ou não carcinogênicos ingeridos (anos perdidos/kg).

- **Ecotoxicidade (água doce, terrestre)**

- *Midpoint*

O fator de caracterização *midpoint* para a ecotoxicidade inclui o fator de destino, que pode ser calculado pela Equação 12.

$$F_{j,i,x} = \frac{\partial C_{j,x}}{\partial M_{i,x}} \quad (12)$$

Nesta equação,  $F_{j,i,x}$  representa o fator de destino, que leva em consideração a eficiência do transporte da substância  $x$  do compartimento  $i$  ( ar urbano, ar rural, rios, mares, solo agrícola, solo industrial e solo virgem) para e persistindo no compartimento  $j$  (ambiente terrestre e aquático) (ano/m<sup>3</sup>),  $C_{j,x}$  é a

mudança marginal na concentração de equilíbrio da substância  $x$  no compartimento  $j$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), e  $M_{i,x}$  é a mudança marginal na emissão da substância  $x$  para o compartimento  $i$  ( $\text{kg}/\text{ano}$ ). E o fator de efeito químico, que pode ser calculado pela Equação 13.

$$F_{k,x} = \frac{\partial TU_k}{\partial C_x} \quad (13)$$

Nesta equação,  $TU_k$  representa a efetiva toxicidade de um grupo de poluentes com o mesmo modo de ação e  $C_x$  é a concentração ambiental da substância  $x$  com o modo de ação  $k$ .

#### - Endpoint

O fator de caracterização para a ecotoxicidade de água doce e terrestre pode ser calculada de acordo com a Equação 14.

$$CF_{j,i,x} = SD_q \cdot \sum_j CF_{q,i,x} \cdot W_{j \in q} \quad (14)$$

Nesta equação,  $CF_{j,i,x}$  é o fator de caracterização do compartimento ambiental específico, referente a emissão da substância  $x$  no compartimento  $i$  e transportado para  $j$  ( $\text{ano}/\text{kg}$ ),  $SD_q$  a densidade de espécies do ambiente  $q$ ,  $CF_{q,i,x}$  o fator de caracterização do compartimento ambiental específico referente a emissão da substância  $x$  no compartimento  $i$  causando efeito no ambiente  $q$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{ano}/\text{kg}$ ) e  $W_{j \in q}$  é a área ou volume do compartimento  $j$  ( $\text{m}^2$  ou  $\text{m}^3$ ).

#### - Formação de oxidante fotoquímico

O ozônio não é emitido diretamente na atmosfera, é formado como o resultado da reação fotoquímica do  $\text{NO}_x$  e Compostos Orgânicos Voláteis Não Metanos (NMVOCs). Esta formação é mais intensa no verão. O ozônio pode causar inflamações nas vias aéreas e danos aos pulmões e o aumento da concentração de ozônio no ar pode levar a danos à saúde humana, principalmente em pessoas portadoras de asma, ou problemas pulmonares

crônicos. A formação de ozônio depende das condições meteorológicas e dos níveis de concentração de NO<sub>x</sub> e NMVOCs.

Os fatores de caracterização podem ser obtidos levando-se em consideração a Tabela 11.

**Tabela 11 - Fatores de caracterização para a formação de oxidante fotoquímico.**

Substância emitida	Midpoint	Endpoint
	Potencial de formação de oxidante fotoquímico (Ano/kg)	
	(NMVOC-eq/kg).	
NO <sub>x</sub> para o ar	1,0	$3,9 \times 10^{-8}$
NMVOC para o ar	1	$3,9 \times 10^{-8}$

Fonte: Goedkoop *et al* (2009)

### **- Formação de Material Particulado**

O material particulado é um material que possui diâmetro menor do que 10 µm (PM10) e compreende uma mistura de substâncias orgânicas e inorgânicas que causam problemas para a saúde humana. O PM10 pode, também, ser formado a partir de gases (dióxido de enxofre SO<sub>2</sub>, óxidos de nitrogênio NO<sub>x</sub>, amônia NH<sub>3</sub>, e outros), que são emitidos em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas.

Os fatores de caracterização podem ser obtidos de acordo com a Tabela 12.

**Tabela 12 - Fatores de caracterização para a formação de material particulado**

Substância emitida	Midpoint	Endpoint
	Potencial de formação de material particulado (ano/kg)	
	(PM10-eq/kg)	
PM10 para o ar	1	$2,6 \times 10^{-4}$
NH <sub>3</sub> para o ar	0,31	$8,3 \times 10^{-5}$
NO <sub>x</sub> para o ar	0,21	$5,7 \times 10^{-5}$
SO <sub>2</sub> para o ar	0,19	$5,1 \times 10^{-5}$

Fonte: Goedkoop *et al* (2009)

Tanto a formação de material particulado, quanto a formação de oxidantes fotoquímicos causam danos à saúde humana, ou seja, no final do sistema (endpoint). Os fatores de caracterização endpoint referentes a formação de oxidante fotoquímico e formação de material particulado referem-se aos anos de vida afetados por doenças respiratórias causadas pela exposição aos oxidantes fotoquímicos e ao material particulado.

#### **- Impactos do Uso da Terra**

A categoria de impacto do uso da terra reflete os danos ao ecossistema devido aos efeitos da ocupação e transformação da terra. As duas questões consideradas são a ocupação de certa área de terra durante certo tempo e a transformação de certa área de terra.

#### **-Midpoint**

Para calcular os fatores de caracterização é necessária somente a quantidade de área ocupada ou transformada.

#### **- Endpoint**

O indicador é fração de potencialidade de desaparecimento (PDF) de espécies. O dano é calculado multiplicando este fator com os resultados obtidos no inventário e expresso em  $m^2 \times \text{ano}$  e a densidade das espécies.

Os fatores de caracterização *midpoint* e *endpoint* podem ser visualizados na Tabela 13.

Os fatores de caracterização endpoint estão relacionados à perda da diversidade de espécies, causada pelo uso da terra. Para a ocupação da terra, o indicador é o PDF, ou fração de espécie potencialmente desaparecida. E no caso da transformação da terra, acrescenta-se o tempo de restauração da terra.

**Tabela 13 - Fatores de caracterização de alguns tipos de atividades de uso da terra (banco de dados do ecoinvent)**

Tipo de uso da terra	Midpoint		Endpoint
	Potencial de uso agrícola da terra (ALOP) (m <sup>2</sup> xano/m <sup>2</sup> xano)	Potencial urbano de uso da terra (ULOP) (m <sup>2</sup> xano/m <sup>2</sup> xano)	PDFxm <sup>2</sup> xano
Ocupação, aragem	1	0	1,3
Ocupação, área industrial	0	1	1,4
Ocupação, floresta	1	0	0,63
Ocupação, desconhecida	0,4	0,6	1,10

Fonte: Goedkoop *et al* (2009)

### - Impactos da Transformação da Terra

A transformação de terras considera a transformação de um estado em outro, por exemplo de floresta para uma área que sofre intervenção humana.

Os fatores de caracterização encontram-se na Tabela 14.

**Tabela 14 - Fatores de caracterização Midpoint e Endpoint para a transformação de terra**

Tipo de uso da terra	Midpoint	Endpoint
	Potencial de transformação da terra natural (NLTP) (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	PDFxm <sup>2</sup> xano
Transformação, de floresta	1	130
Transformação, de mares e oceanos	1	-
Transformação, de floresta tropical	1	4.290
Transformação, de desconhecido	0,4	51
Transformação, para floresta	-1	- 130
Transformação, para mares e oceanos	-1	-

Transformação, para floresta tropical	-1	- 4.290
Transformação, para desconhecido	-0,4	- 51

Fonte: Goedkoop *et al* (2009)

No Recipe, a transformação de terras naturais (florestas, florestas tropicais, rios, mares) em não naturais (tipos de terras que passaram por intervenção humana, como terras urbanas, agrícolas etc.) é caracterizada como positiva. Em contrapartida, a transformação de terras não naturais em naturais produz melhoria ambiental, portanto apresenta sinal negativo.

### - **Depleção da Água**

A água é um recurso escasso em diversas partes do mundo, mas em outras ainda é abundante. A água não é comercializada globalmente e não há estudos que caracterizem os danos que a depleção da água causa ao ecossistema e à saúde humana, ou seja no *endpoint*. No *midpoint*, será considerada apenas a quantidade total de água utilizada, ou seja, o fator de caracterização para a água de lagos, rios, lençol freático ou de origem não especificada é  $1 \text{ m}^3/\text{m}^3$ .

### - **Depleção de Recursos Minerais**

Os minerais podem ser chamados de mercadoria (commodities) por representar a produção econômica de uma mineradora. Um depósito de minério possui diversos tipos de commodities, dentre eles os metais como ferro, cobre, cromo. Para calcular a depleção destes recursos, leva-se em consideração o declive da relação qualidade x produtividade pela disponibilidade da commodity.

### - **Midpoint**

O fator de caracterização *midpoint* expresso em kg/kg, pode ser calculado de acordo com a Equação 15.

$$CF_{c.kg.m\u00e9dio} = -\frac{\overline{M}_c}{(C_c)^2} \times V_c^2 \times P_{c.kg} \quad (15)$$

Nesta equa\u00e7\u00e3o,  $CF_{c.kg.m\u00e9dio}$  \u00e9 o fator de caracteriza\u00e7\u00e3o da deple\u00e7\u00e3o de minerais e,  $M_c$  \u00e9 o declive do n\u00edvel de dep\u00f3sito de minerais (kg),  $C_c$  \u00e9 uma constante (\$),  $V_c$  \u00e9 o valor de mercado da commodity  $c$  (\$/kg) e  $P_{c.kg}$  \u00e9 a quantidade produzida da commodity (kg).

#### - *Endpoint*

O fator de caracteriza\u00e7\u00e3o *endpoint* \u00e9 obtido de quatro taxas de desconto diferentes e um fator que \u00e9 dado para o custo adicional, durante um ano. O fator \u00e9 expresso em \$ por quilograma extra\u00eddo.

O fator de caracteriza\u00e7\u00e3o *endpoint* \u00e9 0,0715 \$ / kg.

#### - **Deple\u00e7\u00e3o de Combust\u00edvel F\u00f3ssil**

O termo combust\u00edvel f\u00f3ssil refere-se a um grupo de subst\u00e2ncias formadas por compostos de carbono. Como, por exemplo, metano, g\u00e1s natural, petr\u00f3leo, carv\u00e3o mineral, entre outros.

#### - *Midpoint*

O fator de caracteriza\u00e7\u00e3o *midpoint* \u00e9 baseado no teor de energia (maior valor de aquecimento), e pode ser obtido pela Equa\u00e7\u00e3o 16.

$$CF_i = \frac{CED_i}{CED_{ref}} \quad (16)$$

Nesta equa\u00e7\u00e3o,  $CF_i$  \u00e9 o fator de caracteriza\u00e7\u00e3o dos recursos n\u00e3o-renov\u00e1veis  $i$  (em kg \u00f3leo-equivalente / unidade de recurso  $i$ ),  $CED_i$  \u00e9 o indicador de demanda de energia acumulada do recurso n\u00e3o-renov\u00e1vel  $i$  (em MJ / unidade de recurso  $i$ ) e  $CED_{ref}$  \u00e9 o indicador de demanda de energia acumulada do \u00f3leo (recurso) de



referência (em MJ / kg de óleo). O óleo de referência é “ óleo bruto no solo, 42 MJ por kg”. O fator de caracterização é adimensional.

- *Endpoint*

O fator de caracterização *endpoint* é definido pela Equação 17 e corresponde a 16,07 \$ / kg, \$ / MJ ou \$ / m<sup>3</sup>.

$$CF_{end,i} = CF_{mid,i} \times CF_{oil,end,kg} \quad (17)$$

Nesta equação,  $CF_{end,i}$  corresponde ao fator de caracterização *endpoint* para recursos não renováveis  $i$  ( em \$ / kgxano do recurso  $i$  ),  $CF_{mid,i}$  é o fator de caracterização *midpoint* e  $CF_{oil,end,kg}$  é o aumento de custo pela extração de 1 kg do recurso.

Todos as categorias apresentadas até aqui foram calculadas, observando-se dados e estudos sobre impactos ambientais na região européia. Pouco se pesquisa sobre os impactos na região africana, americana ou asiática, apesar destes continentes apresentarem maior extensão e diversidade de flora e fauna.

Cabe aqui uma dúvida. É possível mensurar, fielmente, os impactos ambientais de produtos produzidos no Brasil, ou na Argentina, ou na Índia? Ainda faltam muitas pesquisas sobre os reais impactos causados pela emissão de CO<sub>2</sub>, em níveis quantitativos, pois é evidente que a emissão de gases de efeito estufa causa o aquecimento global, mas quanto e em que proporção? Para que se possa avaliar os impactos não bastam pesquisas em regiões como a Europa, se faz necessário pesquisas, inventários em todas as regiões do planeta.

Outra questão é o impacto causado pela produção de determinado produto em determinada região e quais os impactos desta produção ou uso na microrregião. Um exemplo é o descarte de produtos em aterros, em lixões, em córregos, em rios, em mares, há uma escassez de pesquisas quantitativas relacionas as emissões no descarte de resíduos . Quais os impactos do uso de agrotóxicos nas nascentes, nos rios etc. e quais as consequências à saúde humana, perda de diversidade nestas microrregiões?

Todas estas questões nos levam a refletir sobre como avaliar os impactos ambientais de um produto, serviço ou processo para que possamos minimizar seus impactos.

## NORMALIZAÇÃO

A normalização, de acordo com a ABNT NBR ISSO 14044:2009, é um elemento opcional que tem como objetivo entender melhor a magnitude relativa para cada resultado, e pode ser utilizado para verificar inconsistências, fornecer informações sobre a significância dos resultados e preparar procedimentos adicionais, tais como agrupamento, ponderação ou interpretação do ciclo de vida.

O indicador ReCiPe, e de acordo com SLEESWIJK *et al* (2008), no Recipe são consideradas emissões de 10 substâncias CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, NMVOC, e (H)CFCs, para o ar e N- e P- para a água doce.

O fator de normalização é obtido multiplicando o fator de caracterização de cada categoria de impacto pela magnitude de substâncias de referência liberadas ou extraídas, ou seja:

$$A_{c,s} = \sum_i \sum_x Q_{c,x,i} \times M_{c,x,i} \quad (18)$$

Nesta equação,  $A_{c,s}$  é o fator de normalização (em kg-eq/ano) para a categoria de impacto  $c$  no sistema de referência  $s$ ,  $Q_{c,x,i}$  é o fator de caracterização (em kg-eq/kg) relacionado a categoria de impacto  $c$  para a substância  $x$  emitida para ou extraída do compartimento ambiental  $i$ , e  $M_{c,x,i}$  (em kg/ano) é a quantidade de substância  $x$  emitida para ou extraída do compartimento ambiental  $i$  no sistema de referência  $s$ .

Os valores de referência correspondem ao inventário de 28 países europeus, preferencialmente dados obtidos das emissões das substâncias de referência para o ano 2000.

Um total de 860 intervenções ambientais foram coletadas, 854 emissões totais, 4 extrações de recursos fósseis totais e 2 ocupações de terras totais. As emissões correspondem à soma das emissões de uma substância para um compartimento específico em determinado sistema geográfico. A extração de recursos naturais refere-se à soma de um certo recurso energético fóssil. A ocupação de terras compreende a soma da área ocupada para um certo tipo de uso. Os fatores de normalização são obtidos pela multiplicação de cada intervenção de referência para cada sistema ambiental com os fatores de caracterização de todas as categorias de impacto e se encontram listados na Tabela 15.

**Tabela 15 – Fatores de normalização**

Categorias de impacto	Unidade	Mundo
<b>Mudança climática</b>		
TH = 20 anos	kg CO <sub>2</sub> -eq	5,76 E+13
TH = 100 anos	kg CO <sub>2</sub> -eq	4,18 E+13
TH = 500 anos	kg CO <sub>2</sub> -eq	3,36 E+13
<b>Depleção do ozônio</b>		
	kg CFC-11-eq	2,10 E+08
<b>Acidificação</b>		
TH = 20 anos	kg SO <sub>2</sub> -eq	3,01E+11
TH = 100 anos	kg SO <sub>2</sub> -eq	3,18E+11
TH = 500 anos	kg SO <sub>2</sub> -eq	3,78E+11
<b>Eutrofização de água doce</b>		
	kg P -eq (p/ água doce)	3,77 E+09
<b>Eutrofização marinha</b>		
	kg P -eq (p/ água doce)	5,71 E+10
<b>Efeitos respiratórios</b>		
<b>Formação de oxidante químico</b>		
	kg NMVOC-eq	3,51 E+11
<b>Formação de material particulado</b>		
	kg PM10-eq	9,92 E+10
<b>Toxicidade Humana</b>		
TH = 100 anos	kg 1,4DCB-eq (p/ ar urbano)	1,20 E+12
TH = infinito	kg 1,4DCB-eq (p/ ar urbano)	8,86 E+12
<b>Ecotoxicidade de Água Doce</b>		
TH = 100 anos	kg 1,4DCB-eq (p/ água doce)	2,94 E+10
TH = infinito	kg 1,4DCB-eq (p/ água doce)	3,07 E+10
<b>Ecotoxicidade de Marinha</b>		
TH = 100 anos	kg 1,4DCB-eq (p/ água do mar)	2,85 E+10
TH = infinito	kg 1,4DCB-eq (p/ água do mar)	6,24 E+12
<b>Ecotoxicidade de Terrestre</b>		
TH = 100 anos	kg 1,4DCB-eq (p/ solo industrial)	3,72 E+10
TH = infinito	kg 1,4DCB-eq (p/ solo)	5,09 E+10

	industrial)	
Radiação ionizante	kBq U-235 eq (para o ar)	7,97 E+12
Ocupação de terras agrícolas	m <sup>2</sup> xano	3,30 E+13
Ocupação de terras urbanas	m <sup>2</sup> xano	4,71 E+12
Depleção de recursos fósseis	kg Sb eq	7,78 E+12

Fonte: Goedkoop *et al* (2009)

# CAPÍTULO 4. PRODUÇÃO DE CALÇA JEANS

## 4.1. INTRODUÇÃO

O jeans (denim) é o artigo têxtil mais consumido no mundo. Segundo estimativas da Associação Brasileira da Indústria Têxtil (ABIT), foram produzidos (no Brasil em 2010) aproximadamente 32 milhões de peças jeans, incluindo calças, jaquetas, camisas, vestidos, bermudas e macacões, e cerca de 295 mil toneladas de tecido jeans (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE). O Brasil é o segundo maior produtor e o terceiro maior consumidor de tecido denim do mundo (ABIT, 2010).

A principal matéria-prima do tecido jeans é o algodão, que é a fibra têxtil natural mais produzida no mundo. Em 2011, a produção mundial de algodão foi de 116,50 milhões de fardos (*United States Department of Agriculture – USDA*), e o Brasil é o quinto maior produtor de algodão, com uma produção de cerca de 5 milhões de toneladas produzidas por ano, em uma área de cerca de 6 milhões de hectares (IBGE, 2010).

O jeans é bastante eclético, sendo usado por pessoas de todas as classes sociais. Pode ser encontrado em diversas lojas de vestuário e tornou-se peça fundamental em qualquer guarda-roupa. Os fabricantes sustentam que qualquer pessoa terá ou tem uma peça jeans.

Por outro lado, os impactos ambientais gerados na produção da peça jeans são pouco conhecidos ou pesquisados. A Levi Strauss & Co., uma das maiores produtoras de jeans do mundo, publicou um estudo sobre o desempenho ambiental de seus produtos (basicamente calças jeans), desde a extração da matéria-prima até o portão de fábrica, no qual constata apenas pequenas diferenças em relação aos modelos de calças; a pesquisa não mostra, porém, a influência das etapas do processo ou da produção da matéria-prima nestes impactos.

## **4.2. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS**

A avaliação será realizada nos setores de produção da fibra (cultivo e descaroçamento da fibra de algodão), fiação (transformação da fibra em fio), beneficiamento / tecelagem (tingimento dos fios e obtenção do tecido), confecção (confecção da calça jeans) e acabamento (lavagem ou destonagem da calça jeans).

### **4.2.1. MATÉRIA-PRIMA (FIBRAS)**

As fibras são a matéria-prima para os produtos têxteis e são classificadas em naturais, artificiais e sintéticas. As fibras naturais, por sua vez, dividem-se em vegetais (algodão, linho, rami), animais (lã, seda) e minerais (amianto). As fibras artificiais e sintéticas são as fibras modificadas ou sintetizadas por processos químicos, as artificiais são de origem celulósica (viscose, tencel, modal, bambu) e as sintéticas derivadas do petróleo (poliéster, poliamida, poliuretano, polipropileno).

#### ***Algodão***

O algodão é a principal matéria-prima da calça jeans. A fibra do algodão é o revestimento piloso da semente da planta do gênero *Gossypium* e composta basicamente de longas cadeias de celulose ( $C_{10}H_6O_5$ ) em forma de espiral. Esta espiralidade confere à fibra resistência à tração e estabilidade dimensional. As cadeias celulósicas são unidas por grupos hidroxilas (OH), responsáveis pela grande capacidade de absorção de água e consequente facilidade de tingimento (SHORE, 1995; ARAÚJO e CASTRO, 1984).

A fibra de algodão tem estrutura fibrilar, com parede primária, secundária e lúmen e composta por celulose, proteínas, pectinas, óleos, ceras e outras substâncias como ácidos orgânicos (solúveis) e açúcares. A Tabela 16 apresenta um exemplo de composição da fibra de algodão.

**Tabela 16 - Composição da fibra de algodão**

Constituinte	Proporção sobre o peso seco (%)
Celulose	94,0
Proteínas	1,3
Pectinas	1,2
Ceras	0,6
Cinzas	1,2
Outras substâncias	1,7

Fonte: Shore, (1995)

A qualidade da fibra de algodão está diretamente relacionada à sua fiabilidade. Quanto maior a qualidade, maior a fiabilidade e conseqüentemente menor o desperdício de matéria-prima. As principais características de qualidade da fibra são a cor, grau de impurezas, comprimento, finura, maturação, resistência, uniformidade de comprimento, entre outras. Estas características influenciam na otimização da matéria-prima, na diminuição do consumo de energia e produtos para a limpeza do material têxtil e na qualidade do produto final.

Segundo a EMBRAPA, o algodão cultivado no Cerrado brasileiro, mais especificamente no Mato Grosso do Sul, necessita de clima quente e a semeadura é realizada de outubro a novembro. No cultivo convencional, a superfície do solo é revolvida mediante o uso de arado. Como o solo do cerrado é ácido e rico em alumínio, necessita de correção de solo com adição de calcário. Outra etapa necessária é a fertilização com nitrogênio, potássio e fósforo para suprir as deficiências nutricionais. Como a colheita do algodão é mecanizada, são feitos tratamentos culturais como o uso de reguladores de crescimento e desfolhantes. O algodão pode desenvolver doenças, principalmente provocadas por fungos, e para evitá-las utiliza-se fungicidas. Além das doenças, diversas pragas podem acometer uma cultura de algodão, como por exemplo, o bicudo, a broca, os pulgões, as lagartas rosas etc. Uma forma de combatê-las é pelo o uso de

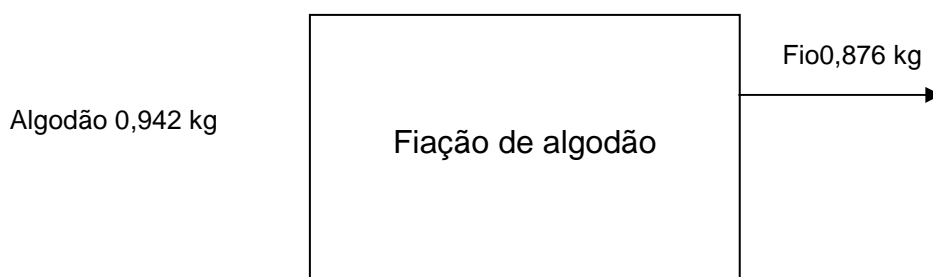
inseticidas. Todas estas etapas do cultivo do algodão serão analisadas em nosso estudo, pois causam algum tipo de impacto ambiental.

#### 4.2.2. FIAÇÃO

O fio de algodão é um produto têxtil utilizado na fabricação de diversos tipos de artigos para o vestuário, especialmente na produção do tecido jeans. O fio pode ser obtido por meio de tecnologias convencionas ou não-convencionais, em um processo denominado fiação. Segundo RIBEIRO (1984), a fiação é definida como um conjunto de operações que transformam os diversos materiais fibrosos, de origem natural, artificial ou sintética, em fio. Estas operações utilizam, principalmente, a energia elétrica como fonte de energia.

A fiação compreende as etapas de abertura, limpeza, cardagem, homogeneização e formação do fio. As etapas de abertura, limpeza, cardagem e homogeneização são etapas de preparação para a fiação (formação do fio), que visam tornar a matéria-prima livre de impurezas físicas como restos vegetais, pó etc., misturar fibras com composições ou características diferentes, orientar as fibras num sentido único e promover a coesão entre as fibras. A formação do fio ocorre na etapa de fiação, e o processo analisado neste estudo foi o processo não convencional de fiação. Na fiação não convencional, a formação do fio ocorre pela atuação da força centrífuga de um rotor, formando um entrelaçamento entre as fibras. A vantagem deste tipo de fiação é a utilização de fibras curtas que diminuem o descarte e o desperdício de matéria-prima (fibras) (ARAÚJO e CASTRO, 1984).

O balanço mássico do subsistema Fiação de algodão é apresentado na Figura 7.







### **Figura 7 - Balanço de massa da fiação de algodão**

Na produção do fio de algodão os resíduos correspondem às fibrilas e os restos vegetais (cascas, folhas do algodão), que são aproveitados em outros sistemas.

### **4.2.3. BENEFICIAMENTO**

A principal característica do tecido jeans é que somente os fios paralelos ao sentido do comprimento do tecido são tintos. Portanto, antes de serem tecidos estes fios são tingidos em um processo contínuo de tingimento, engomagem, secagem e urdimento. A seguir descreveremos o processo de tingimento dos fios.

#### ***Preparação ao tingimento***

As fibras celulósicas necessitam de alguma forma de tratamento para poderem ser tintas ou acabadas. Este tratamento, ou pré-tratamento, remove impurezas naturais ou adquiridas ao longo dos processos (SHORE, 1995).

As impurezas naturais são as pectinas, sais de cálcio, magnésio, ferro, carbonatos e fosfatos de cálcio, potássio e magnésio. As impurezas artificiais compreendem lubrificantes utilizados nos processos para a obtenção do fio. A fibra também pode estar contaminada com ferro e cobre, justificando a necessidade do uso de sequestrantes destes íons (SHORE, 1995).

O tratamento é realizado com detergente e umectante, que emulsionam e saponificam estas impurezas e retiram-nas do material. Além disso, os umectantes também são utilizados em diversos processos, com a finalidade de

propiciar a completa saturação e penetração da água e produtos químicos, tão rápido quanto possível (SHORE, 1995).

### ***Mercerização***

A finalidade da mercerização dos fios de algodão é promover o brilho e aumentar a resistência da fibra e, como consequência disso, uma melhora no desempenho na tecelagem, evitando as constantes paradas dos teares pela quebra dos fios. Outra vantagem é um aumento na cinética de tingimento (HEYWOOD, 2003).

O produto químico utilizado para este propósito é a soda cáustica, que em contato com a fibra provoca seu intumescimento, por meio da hidratação. O intumescimento ocorre quando as pontes de hidrogênio entre as cadeias moleculares adjacentes quebram e a tração exercida faz com que estas pontes se formem com as fibras mais orientadas, melhorando o brilho e a absorção aquosa (SHORE, 1995).

### ***Tingimento***

O tingimento é a etapa que visa colorir o material têxtil. Para o tingimento dos fios de algodão destinados à confecção do jeans, utiliza-se corantes à tina, que necessitam serem reduzidos em meio alcalino para se tornarem solúveis. Após o tingimento, a oxidação é responsável por tornar o corante insolúvel novamente, e insolubilizar-se no interior da fibra (SALEM, 2010; LIMA e FERREIRA).

As etapas do tingimento são:

- redução do corante com hidrossulfito de sódio e soda cáustica;
- tingimento do corante reduzido, por adsorção pelas zonas amorfas da fibra, difusão e ligação por pontes de hidrogênio com a celulose;
- oxidação pelo ar, para que o corante retorne a sua forma insolúvel;

- lavagem para a retirada do corante não fixado na fibra.

#### **4.2.4. TECELAGEM**

Após o tingimento dos fios, estes passam pelo processo de engomagem, secagem e urdimento. Mas antes de descrever estes processos, e para melhor compreendê-los, necessita-se definir o que é um tecido.

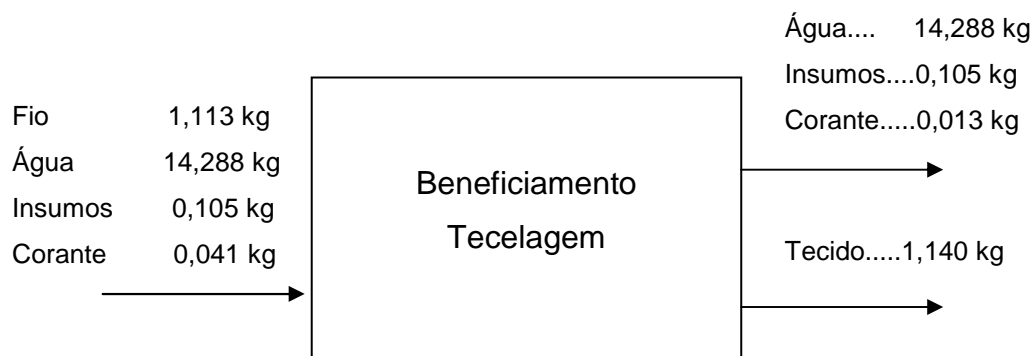
O tecido é uma estrutura plana, caracterizado pelo entrelaçamento de fios perpendiculares entre si. Este entrelaçamento é realizado em equipamentos denominados teares, por meio da inserção de fios no sentido da largura do tecido (fios de trama) e efetuando o cruzamento com os fios que se encontram no sentido do comprimento do tecido (fios de urdume) (MALUF e KOLBE, 2003).

Para poder realizar o processo de inserção dos fios e consequente entrelaçamento, é necessário preparar os fios de urdume para suportar as cargas de tensão e atrito destes com as peças metálicas dos teares. Nesta preparação, os fios de urdume são impregnados por uma goma, em um processo denominado engomagem. A goma mais utilizada é o amido, que tem a função de proteger os fios durante o processo de tecimento e diminuir a penugem dos fios facilitando o tecimento (MALUF e KOLBE, 2003). Após a engomagem e secagem dos fios de urdume, estes passam por um processo denominado urdimento, que consiste em reunir vários fios de urdume paralelos entre si (formando uma folha) e que alimentarão o tear. Após a tecelagem seguem para o setor de enobrecimento ou acabamento.

O acabamento é uma operação que visa proporcionar estabilidade dimensional e melhorar o toque do tecido. Nesta etapa, o tecido é chamuscado

para a retirada das fibrilas soltas. Em seguida, é impregnado com amaciante e seco num equipamento denominado rama. Os amaciantes conferem maciez ao material e também tem a finalidade de favorecer a costurabilidade. A rama é um equipamento que possui duas correntes de pinças que seguram o tecido enquanto passa por um compartimento de secagem, proporcionando a estabilidade dimensional ao tecido (HEYWOOD, 2003).

O balanço mássico do subsistema Beneficiamento / Tecelagem é apresentado na Figura 8.



**Figura 8 - Balanço de massa do Beneficiamento / Tecelagem**

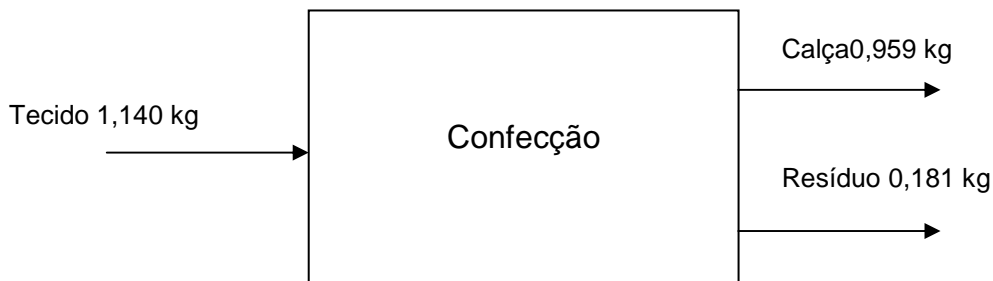
Na figura 8 os insumos correspondem aos produtos químicos auxiliares utilizados no tingimento e acabamento do tecido. Os corantes e insumos que não se fixaram à fibra de algodão são descartados em estações de tratamento de efluentes, onde são tratados e posteriormente despejados em rios.

#### **4.2.5. CONFECÇÃO**

O setor de confecção é responsável por produzir a calça jeans, passando por diversas etapas desde a criação do modelo, confecção da peça piloto, aprovação da peça piloto, modelagem, encaixe e risco, enfesto e corte, costura e acabamento. A etapa de criação do modelo é realizada por estilistas que observam as tendências do mercado de moda e criam modelos que poderão ser comercializados. Após a criação do modelo realiza-se o desenvolvimento do produto, nesta etapa os materiais que farão a composição da peça são selecionados e são confeccionadas peças piloto. Após a aprovação da peça

piloto, a modelagem é responsável por dar forma a peça, e onde são criados os moldes das peças a serem confeccionadas. Após a criação dos moldes, com a utilização de um programa computacional, os moldes são encaixados sobre uma “folha de tecido”, denominada folha de enfiado. Em seguida, ocorre o corte dos moldes, e nesta etapa é que ocorrem os maiores desperdícios, com a geração de resíduos do corte. A etapa final é a costura, que tem por finalidade unir as partes das peças, utilizando máquinas de costura (MALUF e KOLBE, 2003; ARAÚJO, 1996).

O balanço mássico do subsistema Confeção é apresentado na Figura 9.



**Figura 9 - Balanço de massa da confecção da calça jeans**

O resíduo da confecção corresponde aos restos de tecido e que serão aproveitados em outro sistema.

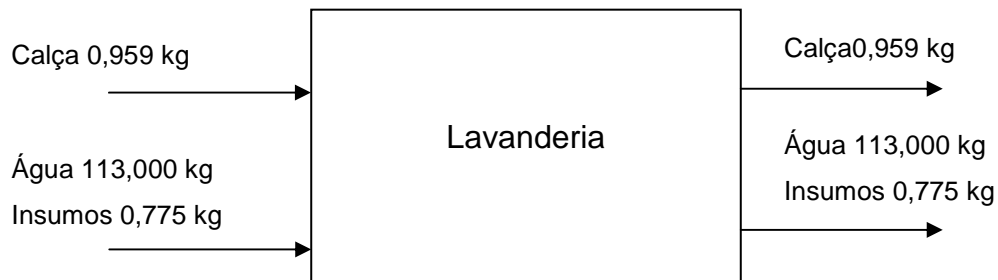
#### **4.2.6. ACABAMENTO (LAVAGEM)**

O setor de lavanderia industrial é responsável pelo acabamento final na calça jeans. Neste setor a calça recebe tratamentos que conferem a aparência de desbote, envelhecimento, amaciamento etc. Para obter estas características, a calça passa pelos processos de lavagem (onde ocorre a estonagem, utilizando produtos químicos e pedras denominadas cinasitas), centrifugação e secagem. A secagem é o setor de maior consumo de energia térmica, gerada por caldeira à lenha. E a lavagem, é grande consumidora de água e produtos químicos.

A lavagem e a secagem são realizadas em lavadoras e secadoras industriais, do tipo tambor rotativas. A centrifugação é feita com o objetivo de

economizar energia, em grandes centrífugas que retiram o excesso de água antes de seguirem para o secador.

O balanço mássico do subsistema Confecção é apresentado na Figura 10.



**Figura 10 - Balanço de massa da Lavanderia**

Neste subsistema, tanto a água quanto os insumos (produtos químicos como amaciantes e hipoclorito de sódio) são utilizados para o acabamento, melhorando o toque e aspecto da calça. A água e os insumos são despejados em uma estação de tratamento de efluentes e posteriormente despejados em corpos receptores.

#### **4.2.7. BALANÇO MATERIAL**

Para uma melhor visualização do processo de produção da calça jeans a tabela 17 mostra o balanço de material.

**Tabela 17–Balanço material da produção da calça Jeans**

Subsistema	Produto	Entrada (kg)	Saída (kg)
Fiação	Algodão	0,942	-
	Fio	-	0,876
	Resíduo 1		0,066
		0,942	0,942
Beneficiamento/Tecelagem	Fio	1,113	-
	Água	14,288	14,288
	Insumos	0,105	0,105
	Corante	0,041	0,013
	Tecido	-	1,140
		15,545	15,545
Confecção	Tecido	1,140	-
	Resíduo 2	-	0,181
	Calça	-	0,959
		1,140	1,140
Lavanderia	Calça	0,959	0,959
	Água	113,000	113,000
	Insumos	0,775	0,775
		114,734	114,734

Fonte: Própria

## **CAPÍTULO 5. ESTUDO DE CASO**

Neste capítulo será apresentado o estudo referente aos impactos ambientais da produção da calça jeans, utilizando o método de Avaliação do Ciclo de Vida. O *software* SimaPro<sup>7TM</sup> e o método ReCiPe 2008 de AICV, foram utilizados para a avaliação dos impactos. Neste estudo, foram consideradas as etapas de extração (produção) da matéria-prima (algodão), os processos físicos e químicos para a obtenção da calça jeans (fiação, beneficiamento / tecelagem, confecção e acabamento). O estudo excluiu o uso, reciclagem e descarte da calça jeans.

Este estudo segue a estrutura metodológica descrita nas ABNT NBR ISO 14040:2009 e ABNT NBR ISO 14044:2009.

### **5.1. OBJETIVO E ESCOPO DO ESTUDO**

O estudo considera desde a extração da fibra até a produção da calça jeans, passando pelos setores de produção do fio e tecido, pela confecção e acabamento.

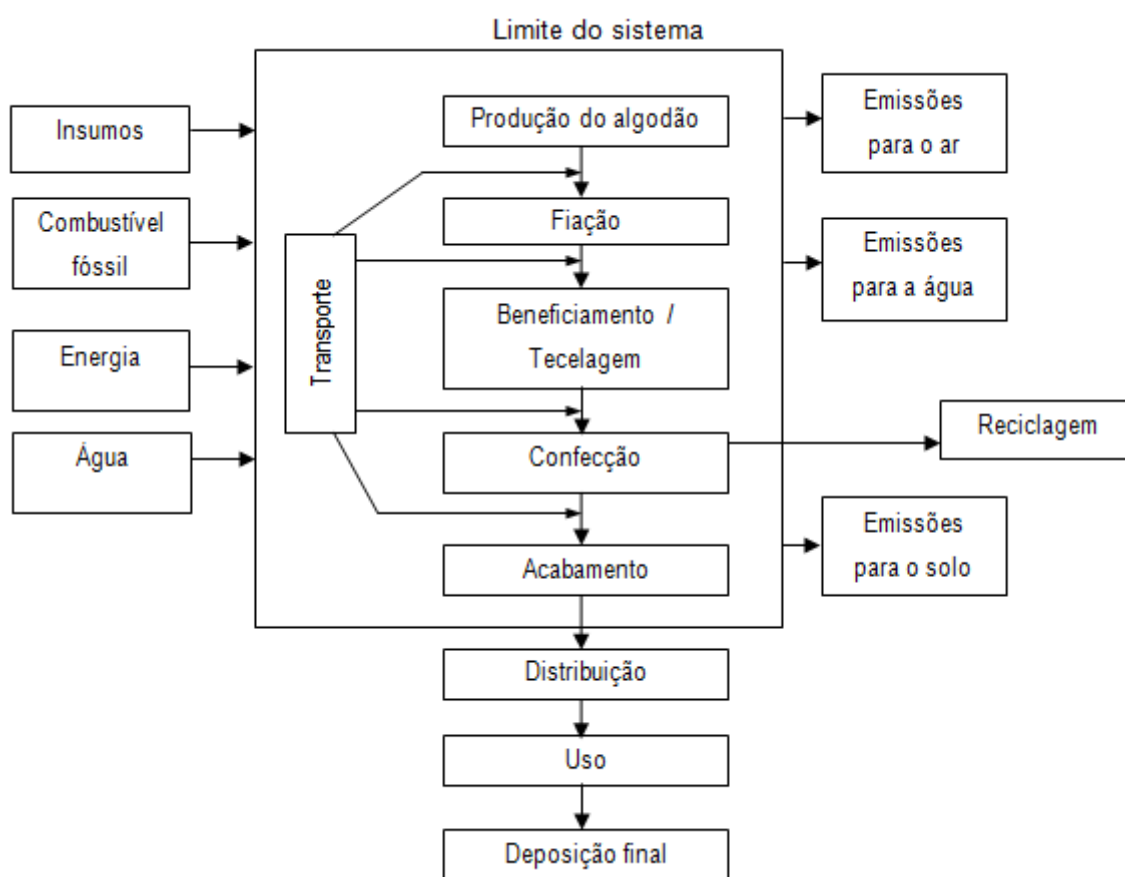
#### **OBJETIVO**

O objetivo deste estudo é avaliar os impactos ambientais da produção de um produto têxtil (calça jeans), subsidiando futuras pesquisas relacionadas aos impactos ambientais destes produtos. Além da academia, este trabalho pode contribuir para a implantação de inventários ambientais por órgão governamentais. E os resultados obtidos poderão ser utilizados, pelas indústrias têxteis e pelos órgãos governamentais, para identificar quais setores da cadeia têxtil causam maiores impactos ambientais.



## ESCOPO

A abrangência (escopo) do estudo pode ser visualizada na Figura 11. Neste estudo de ACV utilizou-se a abordagem atribucional, sem verificar a influência de diferentes opções tecnológicas, e com enfoque metodológico em berço – portão de fábrica.



**Figura 11 - Fronteira da produção da calça jeans**

No subsistema de produção da fibra, são considerados todos os insumos e suas produções e a água utilizada na dissolução dos produtos. Considerou-se, também, o uso e a fabricação de máquinas agrícolas nas atividades agrícolas, no que se refere ao consumo de combustível e à fabricação das máquinas agrícolas. Cabe a observação de que estes dados são do banco de dados do *ecoinvent*,

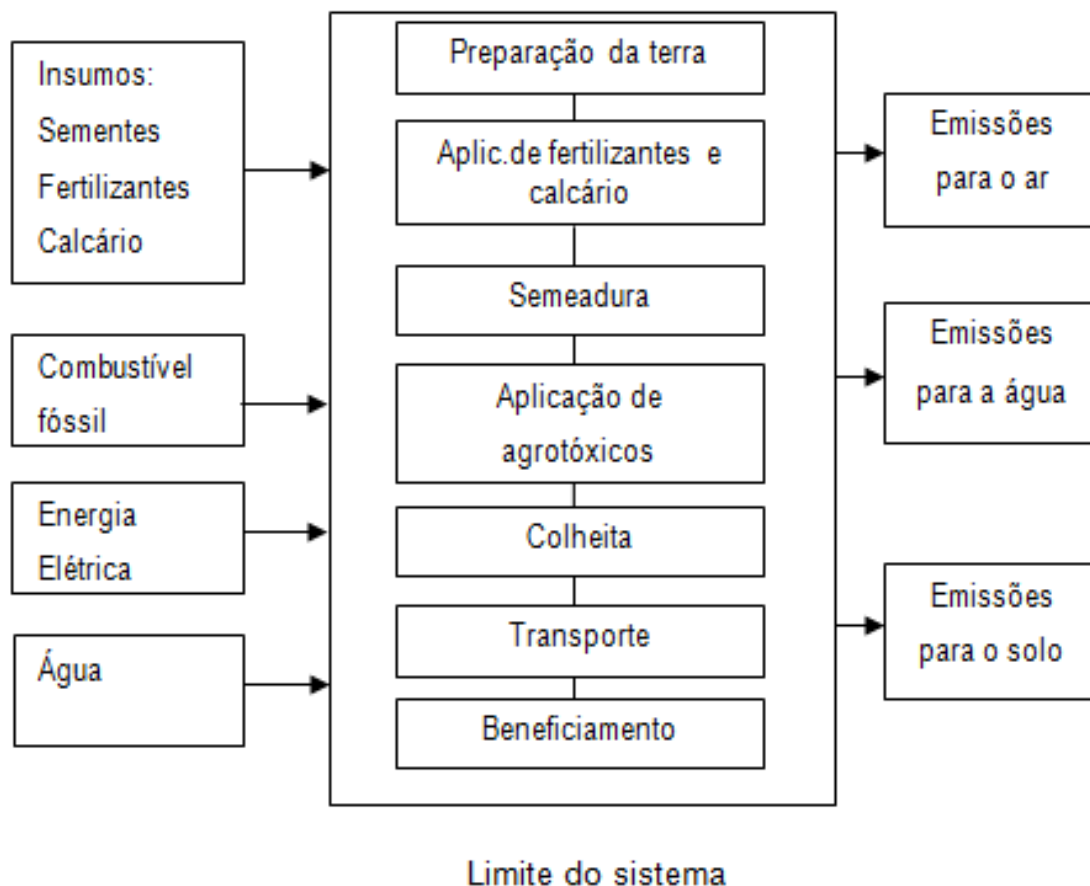
No subsistema Beneficiamento/Tecelagem, utilizou-se a tecnologia de inserção de trama por jatos de ar. Neste tipo de tecnologia, o maior consumo de energia elétrica se encontra no uso de compressores de ar. A justificativa para o uso desta tecnologia é a alta produtividade.

Nos outros subsistemas foram considerados os *inputs* de materiais (produtos químicos e matéria-prima), água e energia e os *outputs* como emissões para o ar, água e solo. No caso dos materiais, considerou-se a produção destes e ainda para os produtos químicos utilizaram-se os dados do *ecoinvent*.

A opção pelo banco de dados *ecoinvent* se justifica pela sua disponibilidade no programa SimaPro 7.3.e pela falta de um amplo banco de dados brasileiro. No caso do uso de máquinas agrícolas, os procedimentos de customização para as condições do estudo abrangeram os dados de consumo de combustível fóssil (óleo diesel). Os dados do *ecoinvent* para a produção de produtos químicos não foram customizados, por não conseguir obter dados referentes a produção destes produtos.

## ***Subsistemas***

Com o objetivo de melhor compreensão das etapas de processo, dividiu-se sistema de produto em subsistemas de produção de algodão, fiação, tecelagem / beneficiamento, confecção e acabamento. As Figuras 12, 13, 14, 15 e 16 mostram as etapas da produção e as fronteiras dos subsistemas, considerados neste estudo.



**Figura 12 - Fronteiras do subsistema de produção do algodão**

Neste subsistema a energia utilizada para o beneficiamento do algodão foi a energia elétrica.

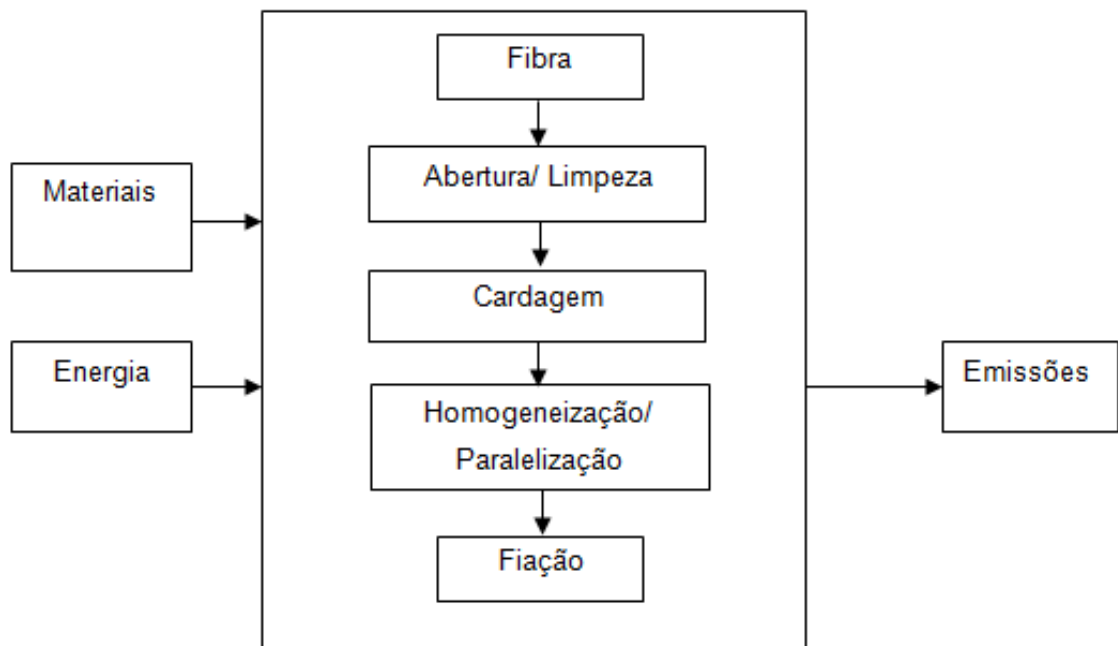


Figura 13 - Fronteiras do subsistema de fiação (produção do fio)

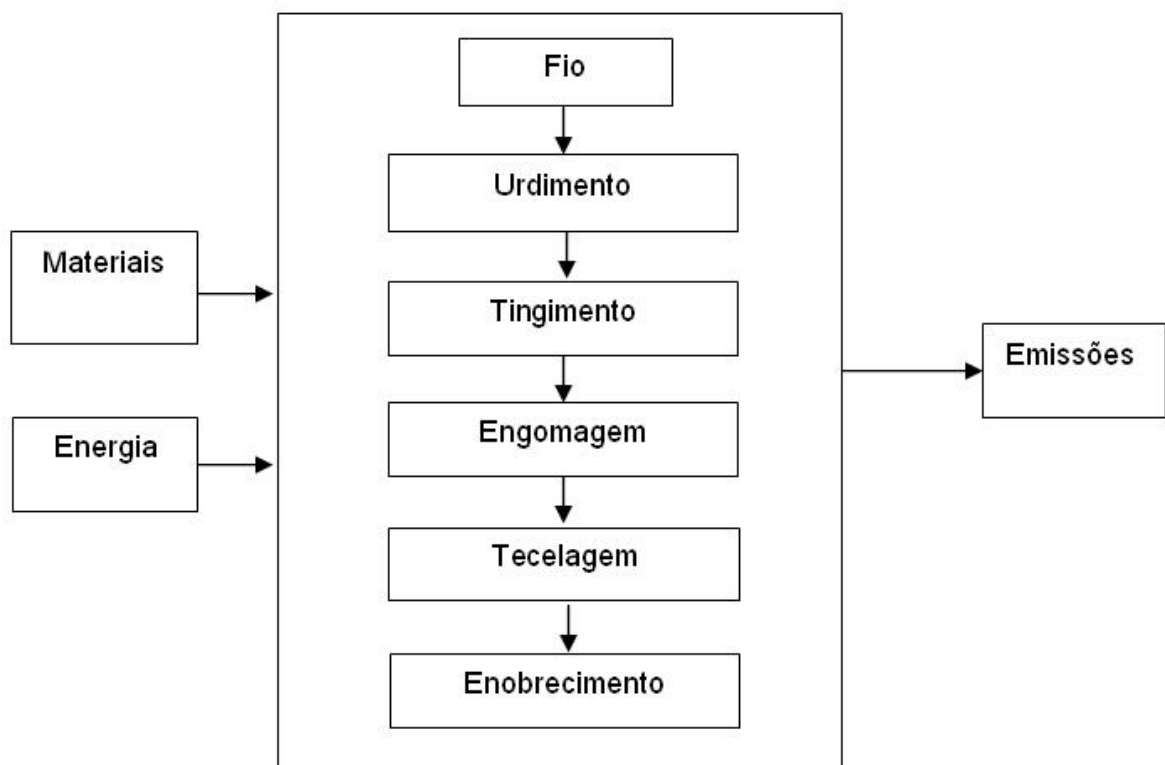


Figura 14 - Fronteiras do subsistema de produção do tecido (beneficiamento / tecelagem)

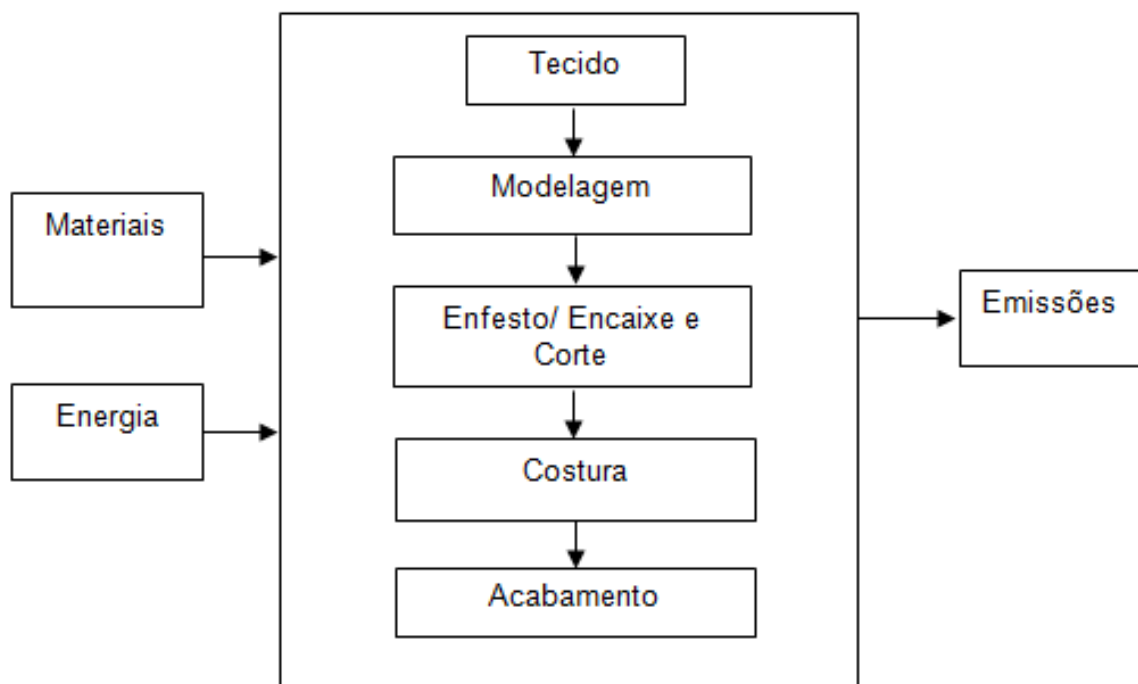


Figura 15 - Fronteiras do subsistema de produção da calça jeans (confeção)

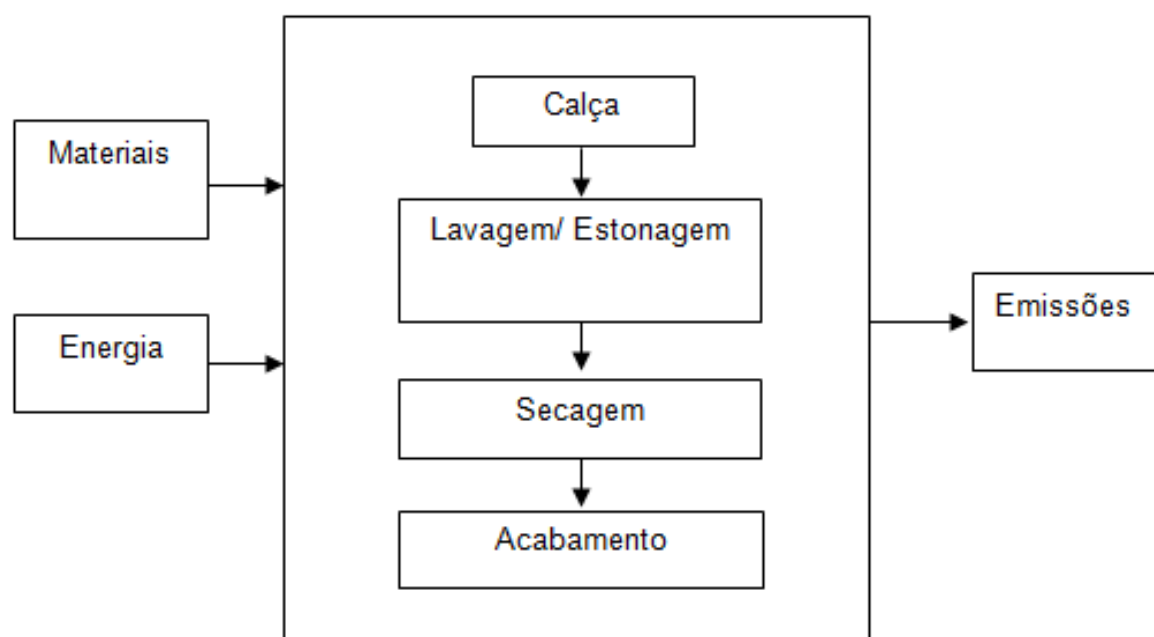


Figura 16 - Fronteiras do subsistema de acabamento da calça jeans

## **Coleta de dados**

A coleta de dados foi realizada em indústrias da região de Maringá (acabamento e confecção), Mato Grosso do Sul (Produção da matéria-prima e Fiação) e São Paulo (Beneficiamento e Tecelagem). Estas indústrias não representam a totalidade da produção da cadeia produtiva da calça jeans, mas para o objetivo proposto alcança seu objetivo pois, os dados coletados do algodão cultivado no Matogrosso do Sul é a principal matéria-prima utilizada na fiação onde foram coletados os dados. E o fio fabricado na fiação é utilizado nas indústrias de tecelagem de jeans, e assim sucessivamente.

## **Unidade Funcional**

Neste estudo considerou-se a Função: produzir calças jeans e a Unidade Funcional ou Fluxo de Referência: produzir uma calça jeans.

## **Alocação**

A alocação selecionada foi por propriedades físicas, mas especificamente por critério mássico. Esta alocação ocorreu na Tecelagem, pois dentre os tecidos produzidos, o jeans utilizado para a confecção da calça representou 45% da produção da tecelagem.

## **Limitações**

Este estudo apresentou algumas limitações, que deverão ser consideradas em estudos futuros. O banco de dados utilizado (ecoinvent) é de origem européia, o que dificulta a análise geográfica dos dados. Outro fator é que os dados coletados não correspondem à totalidade da indústria de tecido ou de confecção de jeans do Brasil.

Alguns dados não foram considerados, devido à indisponibilidade de informações, como os consumos de água na confecção e na fiação e os materiais auxiliares da confecção, como botão, zíper e linha de costura.

As maiores dificuldades enfrentadas no processo de coleta de dados foram referentes à disponibilização das informações. Outra dificuldade foram os dados referentes aos produtos químicos. Por sua falta considerou-se a produção de um produto químico de forma geral (*general module for organic chemicals*). Os dados foram obtidos por meio de entrevistas com profissionais do setor.

### **Qualidade dos dados**

Neste estudo, como já explanado anteriormente a cobertura geográfica ficou prejudicada pela falta de um banco de dados brasileiro. A cobertura temporal usa dados dos últimos 12 meses e a tecnológica abrange equipamentos modernos de vida útil menor que 10 anos. Os dados referentes a produção da fibra (algodão), apresentam uma certa imprecisão, pois são dados globais da região de Naviraí, Mato Grosso do Sul, mas são completos e representam a região.

Na produção da calça jeans, utilizou-se um questionário para a coleta de dados. Os dados podem ser considerados precisos, pois foram obtidos diretamente das indústrias. Porém, não representam todo o setor, pois conseguiu-se dados de poucas indústrias.

### **Avaliação de Impactos**

A avaliação dos impactos ambientais será realizada utilizando o método ReCiPe (2008), que compreende indicadores em níveis de *midpoint* e *endpoint*. Esta escolha é justificada pelo enfoque abrangente dos objetivos propostos neste estudo.

## **5.2. ANÁLISE DE INVENTÁRIO**

Na análise de inventário apresenta-se os dados do inventário separados por setores, da produção da matéria-prima até o acabamento do produto.

### **Coleta de dados**

A planilha para a coleta de dados (em Tabela 23 do Anexo) foi elaborada com base na experiência dos estudos de caso apresentados nesta proposta e em CHEHEBE (1998), FERRÃO (1998) e ISO 14044:2006.

### **Inventário da Produção da matéria-prima (algodão)**

Na Tabela 18 são apresentados os dados de entradas e saídas referentes à produção da matéria-prima (algodão). Os dados foram obtidos em contato com a Embrapa Oeste e são referentes à região de Maracajú e Naviraí em Mato Grosso do Sul. De acordo com a produtividade desta região para obter uma tonelada de algodão em pluma são necessários 0,945 hectares.

O transporte, as operações utilizando máquinas agrícolas (como a aragem do solo, aplicação de produtos químicos, semeadura e colheita) e a energia elétrica foram obtidos do banco de dados do *ecoinvent (ecoinvent LCI database)*. No transporte foram considerados 200 km de transporte, em média, das propriedades produtoras de algodão até a beneficiadora, localizada na cidade de Naviraí. O *ecoinvent* considera para o transporte a manutenção, manufatura de caminhões e consumo de combustível. Nas operações de preparo do solo, aplicação de produtos, semeadura e colheita o *ecoinvent* considera o consumo de combustível e as emissões ambientais da operação.

A água é utilizada na dissolução dos agrotóxicos aplicados, não havendo irrigação para o cultivo de algodão nesta região.

Para a estimativa das emissões associadas ao cultivo da fibra, foram utilizadas as diretrizes do IPCC (*International panel of climate change*) *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (2006). Estas, são referentes ao óxido nítrico ( $N-NO_2$ ), o óxido nítrico ( $N-NO$ ) e o dióxido de carbono ( $CO_2-C$ ). No caso do óxido nítrico, as emissões diretas foram baseadas na quantidade de fertilizante nitrogenado aplicado e utilizou-se o fator de emissão (EF1) de 0,01, e para as emissões indiretas referentes à volatilização durante o manejo do solo um



fator de emissão (EF4) de 0,01 e uma fração (FracGASF) de 0,1 ou 10%. Para a estimativa da emissão de amônia utilizou-se a metodologia de Asman (1992) que determina um fator de emissão do NH<sub>3</sub>-N de 4% sobre o fertilizante nitrogenado aplicado. As emissões para a água consideraram o óxido nitroso lixiviado, conforme IPCC, utilizando-se um fator de emissão de (EF5) 0,0075 e considerando uma fração (FracLEACH) de 0,3 ou 30% do N aplicado. O fósforo para o lençol freático foi calculado com base no *Ecoinvent Report N°15* (NEMECEK *et al*,2007). As emissões para o ar, solo e água, referentes a aplicação de agrotóxicos foram obtidas segundo a metodologia descrita por LEWIS *et al* (1999).

**Tabela 18 - Dados de inputs / outputs por 1 tonelada de algodão em pluma**

Produto	Quantidade	Unidade
<i>Inputs</i>		
Água	1.610	Litros
Área plantada	0,95	hectares
Sementes	14,46	kg
Herbicida	2,48	kg
Fungicida	1,42	kg
Inseticida	0,64	kg
Regulador de crescimento	0,07	kg
Desfolhante	0,02	kg
Óleo mineral	6,43	kg
Calcário	1,93	kg
Fertilizante (N)	108,70	kg
Fertilizante (P2O5)	85,26	kg
Fertilizante (K2O)	440,77	kg
Transporte	200	km
Energia elétrica	198,52	kWh
<i>Outputs</i>		
<i>Emissões para o ar</i>		
Monóxido de dinitrôgeno	1,09	kg
Amônia	10,11	kg
Óxidos de nitrogênio	0,76	kg
Dióxido de carbono	891	kg
Pesticida	0,42	kg
<i>Emissões para água</i>		
Fósforo	0,21	kg
Pesticida	0,15	kg
<i>Emissões para o solo</i>		
Pesticida	3,03	kg

### ***Inventário da fiação***

Os dados da fiação referem-se a um sistema denominado não convencional, que utiliza menos energia elétrica e matéria-prima que o sistema convencional. A fiação e a unidade beneficiadora (para o descaroçamento do algodão) localiza-se na região do Mato Grosso do Sul. Para não haver duplicidade, o transporte não foi considerado nesta fase.

Na Tabela 19 são apresentados os dados referentes às entradas no sistema. A energia elétrica considerada foi a energia de alta voltagem produzida no Brasil, que considera as perdas de energia e as linhas de transmissão. Quanto à saída, o resíduo da Fiação, que corresponde a 7,6% do total produzido, é reaproveitado por outros sistemas. E este reaproveitamento não será considerado neste estudo.

***Tabela 19 - Dados de inputs/outputs por 1 tonelada de fio***

Produto	Quantidade	Unidade
<i>Inputs</i>		
Fibra de Algodão Descaroçado	1.075,26	kg
Energia Elétrica	2.449,21	kWh
<i>Outputs</i>		
Resíduo (Reaproveitado)	75,26	kg

### ***Inventário do beneficiamento / tecelagem***

No setor de beneficiamento e tecelagem, os dados correspondem a uma indústria de beneficiamento/tecelagem na região de São Paulo. O transporte entre a fiação (Naviraí – MS) e o beneficiamento/tecelagem (Americana – SP) foi considerado (930 kg.km).

Na Tabela 20 pode-se observar grandes quantidades de produtos químicos, água e energia térmica utilizados no beneficiamento (tingimento) dos fios de algodão.

Neste estudo foram utilizados dados de produção de químicos do *ecoinvent*, mas considerados *inputs* de uma indústria de beneficiamento de jeans.

No que se refere a energia térmica, na indústria estudada, a geração de energia é realizada por duas caldeiras, uma à lenha e outra à gás e seus dados forma obtidos do *ecoinvent*. Os dados do efluente consideram os efluentes pós-tratamento e não foram consideradas as cargas ambientais referentes ao processo de tratamento do efluente.

**Tabela 20 - Dados de inputs/outputs por 1 metro de tecido**

Produto	Quantidade	Unidade
<i>Inputs</i>		
Fios de algodão	6,89E-01	kg
Soda cáustica	7,30E-03	kg
Umectante	1,82E-03	kg
Sequestrante (mercerização)	7,30E-04	kg
Ácido acético	4,56E-03	kg
Cloreto de sódio	9,12E-03	kg
Hidrossulfito de sódio	3,65E-03	kg
Corante	3,28E-02	kg
Sequestrante (tingimento)	7,30E-04	kg
Amido	2,30E-02	kg
Amaciante (engomagem)	1,50E-02	kg
Enzima	2,55E-03	kg
Anti-migrante	1,02E-03	kg
Amaciante (acabamento)	1,27E-02	kg
Água	1,12E+01	L
Energia Elétrica	4,42E-04	kWh
Energia térmica (lenha)	13,72	MJ
Energia térmica (gás)	63,56	kcal
<i>Outputs</i>		
Efluente (Emissão para água)	9,63E-03	m <sup>3</sup>

### ***Inventário da confecção***

Além da energia elétrica utilizada pelos equipamentos, considerou-se o transporte do beneficiamento/tecelagem (São Paulo) até a confecção (Maringá, Paraná). Os dados foram obtidos por meio de entrevistas com profissionais do setor (ver Tabela 21).

**Tabela 21 - Dados de inputs/outputs por 1 calça jeans**

Produto	Quantidade	Unidade
<i>Inputs</i>		
Tecido de algodão Tinto	1,27	m
Energia Elétrica	1,46	kWh
Transporte	159,69	kg .km
<i>Outputs</i>		
Resíduo(Reaproveitado)	0,20	m

Os resíduos gerados são reaproveitados por outros sistemas, principalmente para a confecção de barbantes.

### ***Inventário do acabamento***

Os dados do setor de acabamento foram obtidos de uma lavanderia, por meio de questionário já mencionado. Os dados englobam produtos químicos, água, energia elétrica e térmica, transporte (São Paulo - Maringá) e emissões para o solo, ar e água. Todos os dados foram fornecidos pela indústria (ver Tabela 22).

Neste estudo foram utilizados dados de produção de químicos do *ecoinvent*, mas considerados *inputs* de uma lavanderia industrial. No que se refere a energia térmica, a geração de energia é realizada por uma caldeira à lenha e os dados de emissões de gases como o gás carbônico foram obtidos da empresa. Por outro lado os dados referentes ao plantio e colheita do combustível (lenha) foram obtidos do inventário do *ecoinvent*. Os dados do efluente consideram os efluentes pós-tratamento e não foram consideradas as cargas ambientais referentes ao processo de tratamento do efluente.

**Tabela 22 - Dados de inputs/outputs por 1 calça jeans**

Produto	Quantidade	Unidade
<i>Inputs</i>		
Desengomante	6,50	g
Anti-migrante	9,75	g
Amaciante	19,50	g
Enzima neutra	2,60	g
Permanganato de potássio	6,50	g
Metabissulfito de sódio	19,50	g
Metassilicato de sódio	6,50	g
Detergente neutro	6,50	g
Água	113,00	L
Energia Elétrica	0,05	kWh
Energia térmica (lenha)	1,97E-05	TJ
Transporte	635,00	km
<i>Outputs</i>		
Emissões para o ar		
Monóxido de dinitrógeno	7,85E-05	kg
Metano	5,89E-04	kg
Dióxido de carbono	2,19	kg
Emissões para água		
DQO	0,21	kg
DBO	0,15	kg
Emissões para o solo		
Lodo	8,40E-02	kg

## **CAPÍTULO 6. RESULTADOS e DISCUSSÕES**

Os resultados apresentados neste capítulo correspondem aos impactos ambientais sobre a perspectiva hierárquica, *midpoint* e *endpoint*, de 15 categorias de impacto.

### **6.1. CARACTERIZAÇÃO**

#### **MUDANÇA CLIMÁTICA**

Como pode ser observado na Figura 17 o maior impacto está na produção da matéria-prima, ou seja no cultivo do algodão, que corresponde a 61,5% do total de emissão de CO<sub>2</sub> na produção de uma calça jeans.

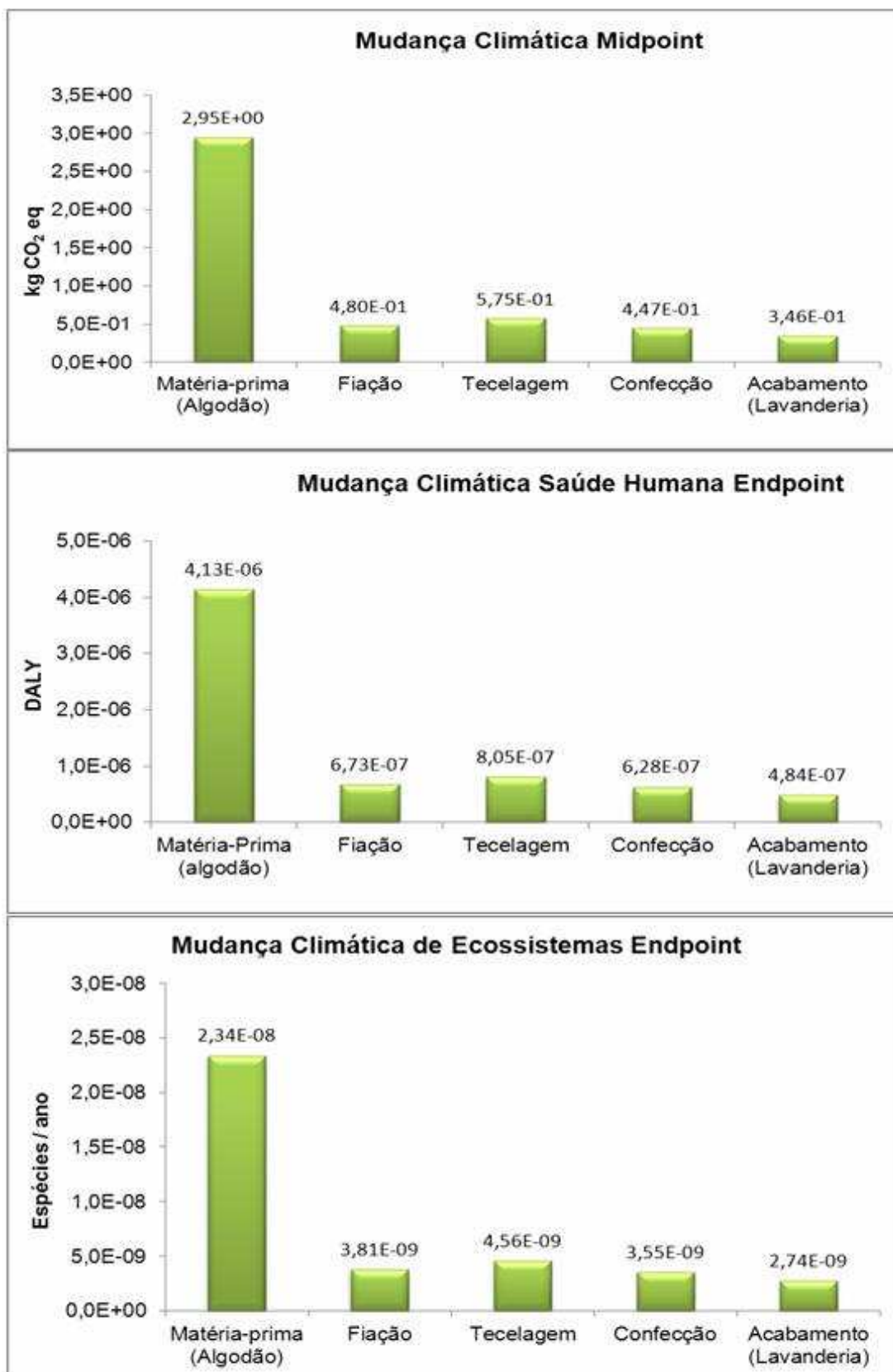
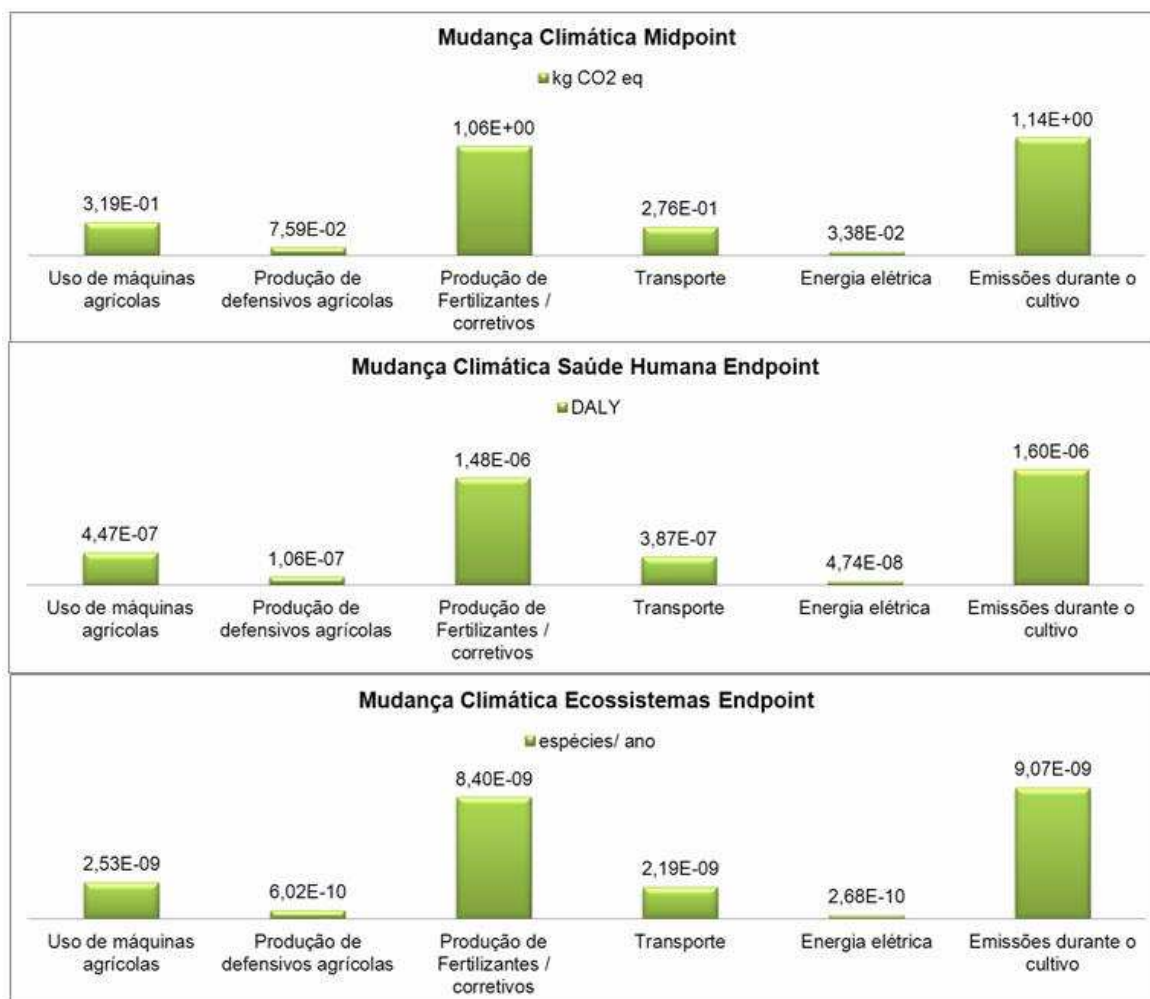


Figura 17 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Mudança Climática

## Matéria-Prima (Algodão)

A Figura 18 identifica as causas do impacto correspondente à matéria-prima. Os maiores impactos são gerados pelas emissões durante o cultivo, pelo uso de máquinas agrícolas na preparação da terra, aplicação de produtos químicos, colheita e semeadura e pela produção de fertilizantes e corretivos de solo. De acordo com os resultados observados, as emissões de CO<sub>2</sub> (38,6%) durante o cultivo da matéria-prima (algodão) são mais elevadas e correspondem a volatilização dos produtos químicos utilizados no cultivo da fibra. Além das emissões, o consumo de combustível fóssil na produção de fertilizantes também influenciam fortemente os impactos (36%). Os setores de maior impacto na mudança climática são condizentes com o estudo de VAN DER WERF (2004), que avaliou os impactos ambientais da extração da fibra de cânhamo e apresentou emissões de 41,1% durante o cultivo e de 24,6% na produção do fertilizante de nitrato de amônia. Não é possível comparar os valores percentuais obtidos, pois são fibras diferentes e condições de cultivo diferentes, mas pode-se afirmar que os impactos são maiores na fibra de algodão do que na fibra de cânhamo. O autor sugere que haja uma diminuição na utilização de fertilizantes melhorando as práticas de cultivo. Em outro estudo conduzido por SHEN *et al* (2010), as emissões de CO<sub>2</sub> do algodão produzido nos Estados Unidos apenas são menores do que do poliéster, do polipropileno e da viscose produzida na Ásia e o consumo de energia é responsável pelas altas emissões de CO<sub>2</sub> equivalente. Mas cabe ressaltar que para a avaliação dos impactos no uso de máquinas agrícolas e na produção de defensivos, fertilizantes e corretivos foram utilizados dados secundários. Sendo necessárias adequações referentes ao uso de dados primários.





**Figura 18 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Mudança Climática na produção da matéria-prima (algodão)**

## DEPLEÇÃO DO OZÔNIO

Conforme mostra a Figura 19, os resultados demonstram que a extração da matéria-prima é responsável por 39% do impacto gerado na depleção do ozônio, seguida do setor de beneficiamento / tecelagem, responsável por 28,9% do impacto.

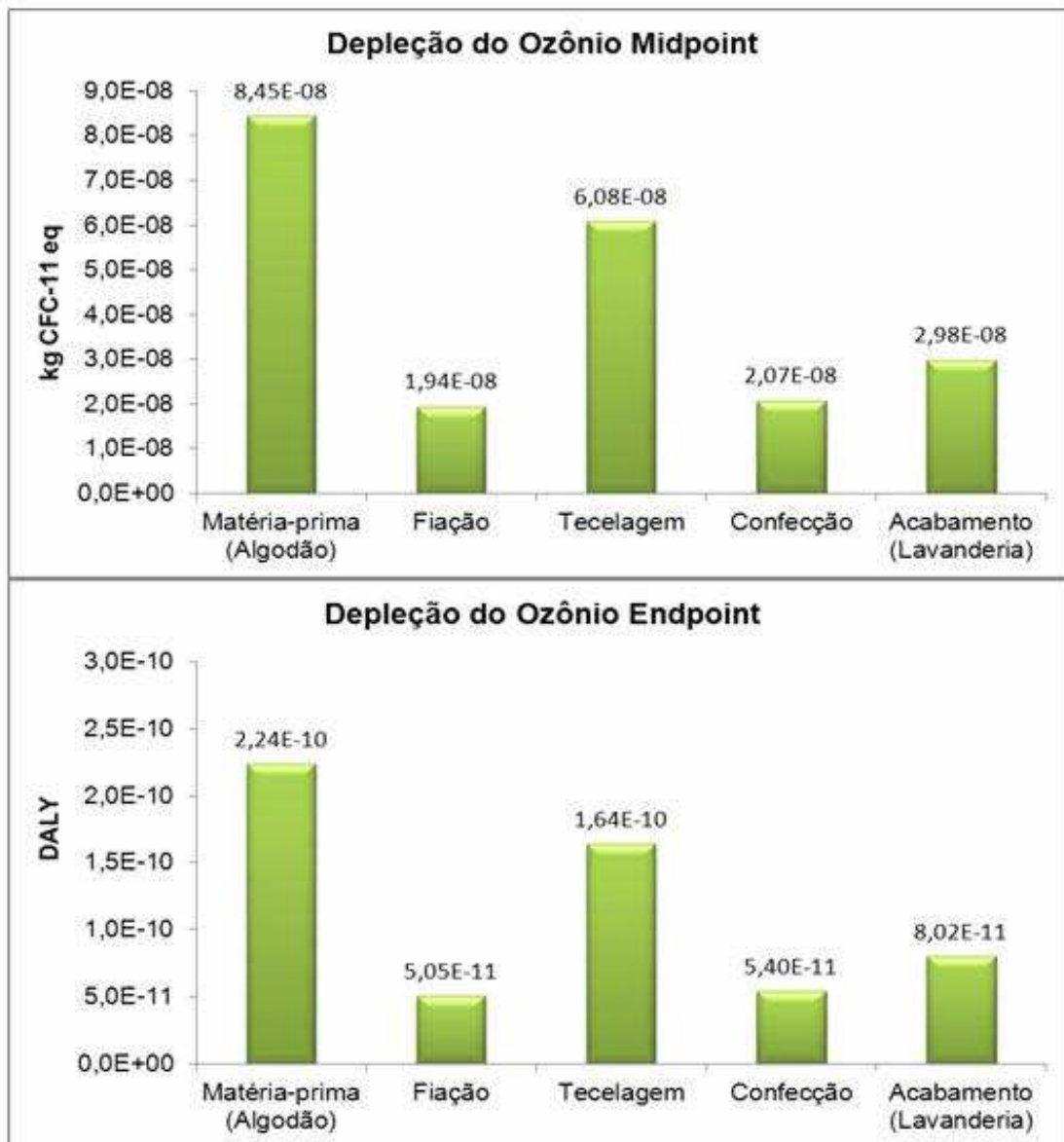
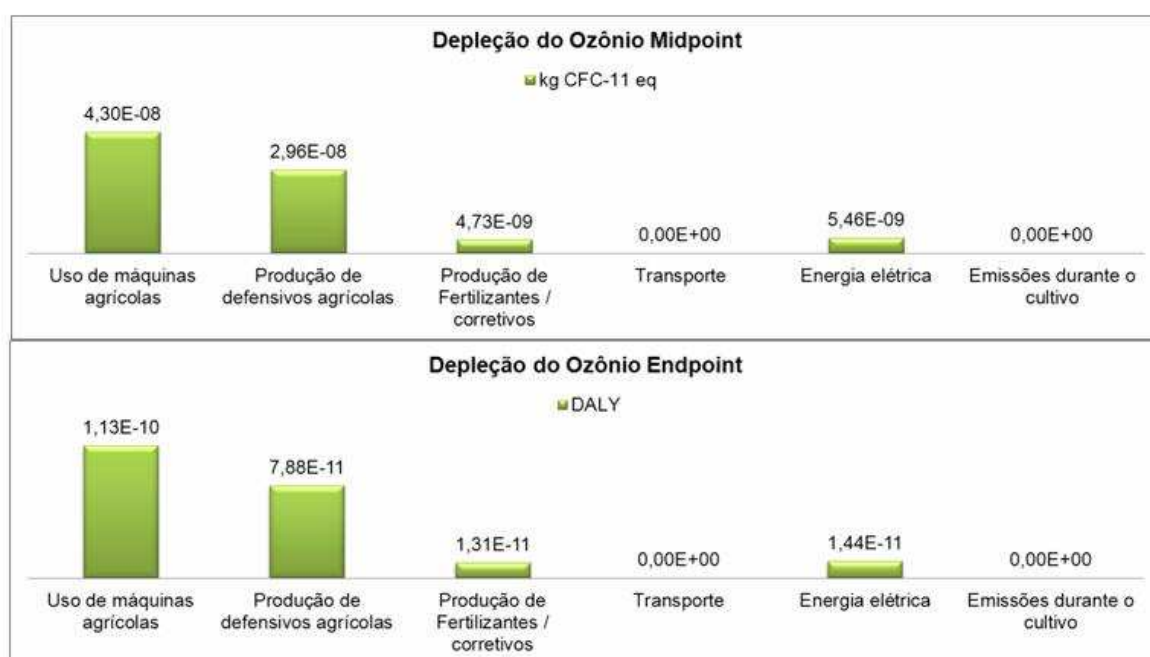


Figura 19 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Depleção do Ozônio

### Matéria-prima (algodão)

Conforme Figura 20, o uso de máquinas agrícolas e a produção de defensivos agrícolas contribuem para a depleção do ozônio. No uso de máquinas agrícolas o fator preponderante é a queima de combustível fóssil (diesel). Na produção de defensivos agrícolas, as emissões de substâncias químicas para o ar durante produção de herbicidas, fungicidas, glifosato, entre outros produtos

químicos, são determinantes para o aumento no impacto sobre a depleção do ozônio. De acordo com SHEN *et al* (2010), o algodão produzido nos Estados Unidos emite  $2,0 \times 10^{-4}$  kg CFC eq. / tonelada de fibra. Para produzir uma calça jeans nas mesmas condições deste estudo são emitidos  $1,88 \times 10^{-7}$  kg CFC eq. / calça já o estudo desenvolvido no corrente trabalho apresentou o valor de  $8,45 \times 10^{-8}$  kg CFC eq. / calça, deve-se levar em consideração que as condições de cultivo são diferentes. Nos Estados Unidos a cultura é irrigada e não foi possível identificar no estudo os *inputs* de fertilizantes e defensivos agrícolas.

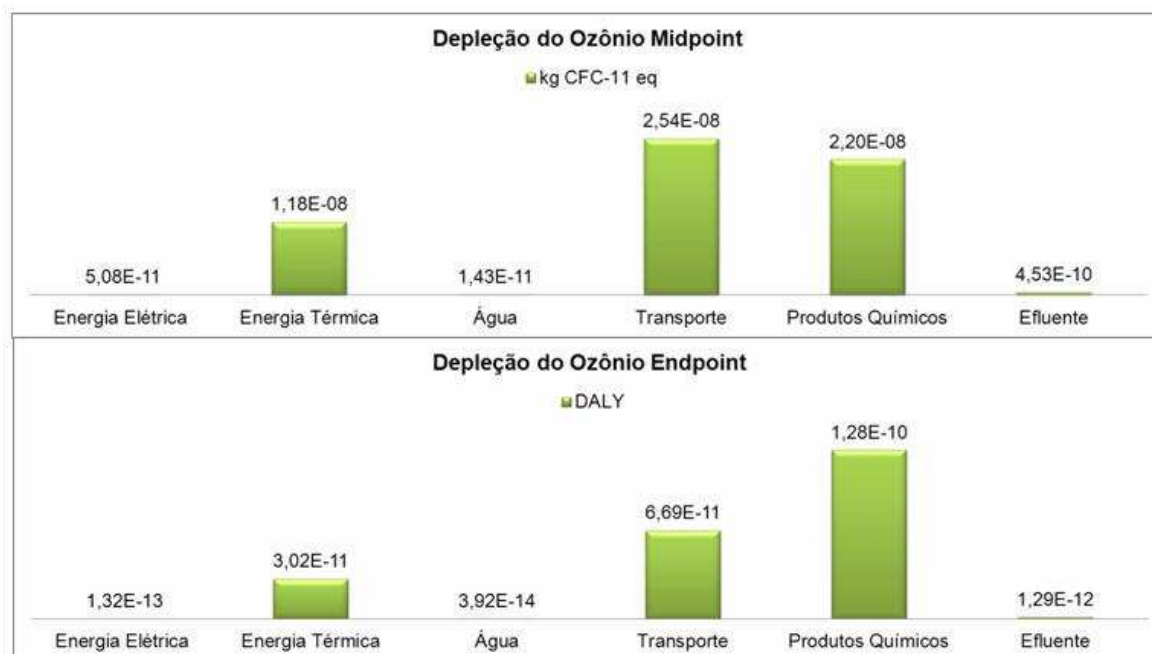


**Figura 20 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Depleção do Ozônio na produção da matéria-prima (algodão)**

### **Beneficiamento / Tecelagem**

No setor de beneficiamento e tecelagem, o transporte rodoviário de materiais é responsável pelo impacto na depleção do ozônio, especificamente o consumo de combustível fóssil (diesel). A produção de produtos químicos, como corantes, auxiliares etc. também contribuem fortemente para a depleção do ozônio, tanto nas emissões durante a produção dos produtos quanto na queima de combustível fóssil nas caldeiras. Aliás a queima de combustível (lenha) na

caldeira para a geração de energia térmica na tecelagem, também contribui para este impacto, conforme pode ser observado na Figura 21.



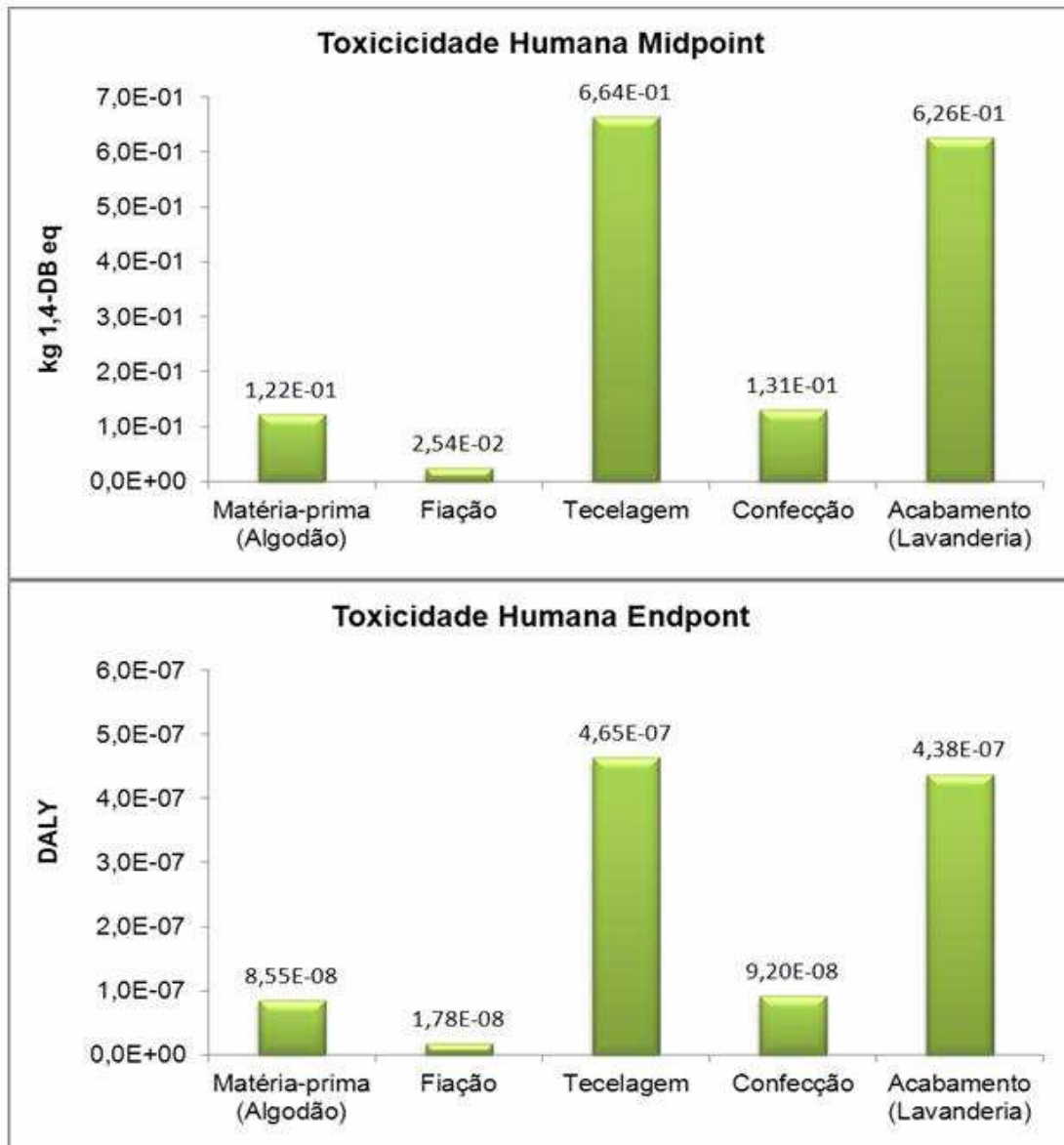
**Figura 21 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Depleção do Ozônio no beneficiamento / tecelagem**

Nos resultados *endpoint* para a categoria de impacto depleção do ozônio, os produtos químicos são responsáveis pelos maiores impactos à saúde humana. Esta diferença em relação ao *midpoint* pode ser explicada pelos diferentes fatores de caracterização das diferentes substâncias (conforme Tabela 8 ). A substância CFC-113, por exemplo, exerce maior influência no *midpoint*, então grandes volumes de emissões desta substância por determinado setor pode acarretar resultados diferentes no *midpoint* e no *endpoint*.

## TOXICIDADE HUMANA

A toxicidade humana caracteriza o efeito toxicológica da substância sobre o homem e depende da substância tóxica e do ambiente (água, ar e solo).

De acordo com a Figura 22, os setores de beneficiamento / tecelagem e acabamento são responsáveis pelo maior impacto na toxicidade humana. E a energia térmica é responsável pelos altos impactos nos dois setores, pois são os setores que utilizam este tipo de energia, principalmente, na secagem dos produtos (fios e tecidos).



**Figura 22 - Resultados da caracterização “Midpoint” e “Endpoint” da categoria de impacto Toxicidade Humana**

Tanto no acabamento (Figura 23) quanto no beneficiamento / tecelagem (Figura 24), a queima de combustível (lenha) da caldeira libera substâncias tóxicas responsáveis pelo impacto na toxicidade humana.

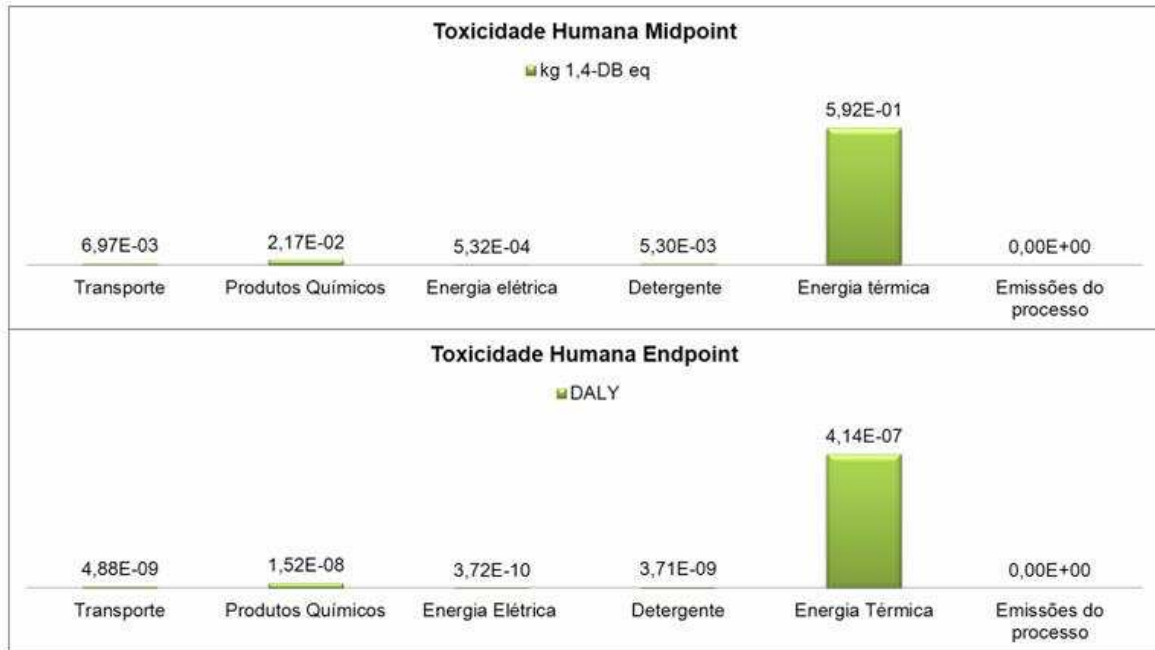


Figura 23 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Toxicidade Humana no acabamento (lavanderia)

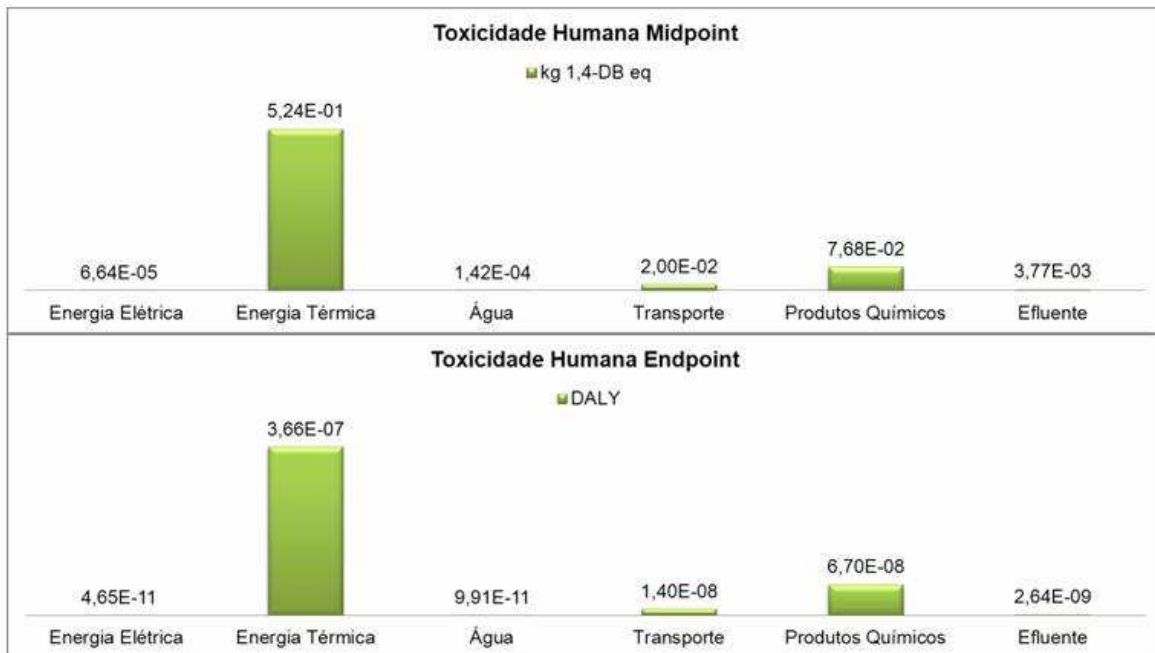


Figura 24 - Resultados da caracterização *Midpoint* *Endpoint* da categoria de impacto Toxicidade Humana no beneficiamento / tecelagem

## ECOTOXICIDADE

### Ecotoxicidade Terrestre

A Figura 25 mostra a grande influência da produção do algodão sobre esta categoria de impacto.

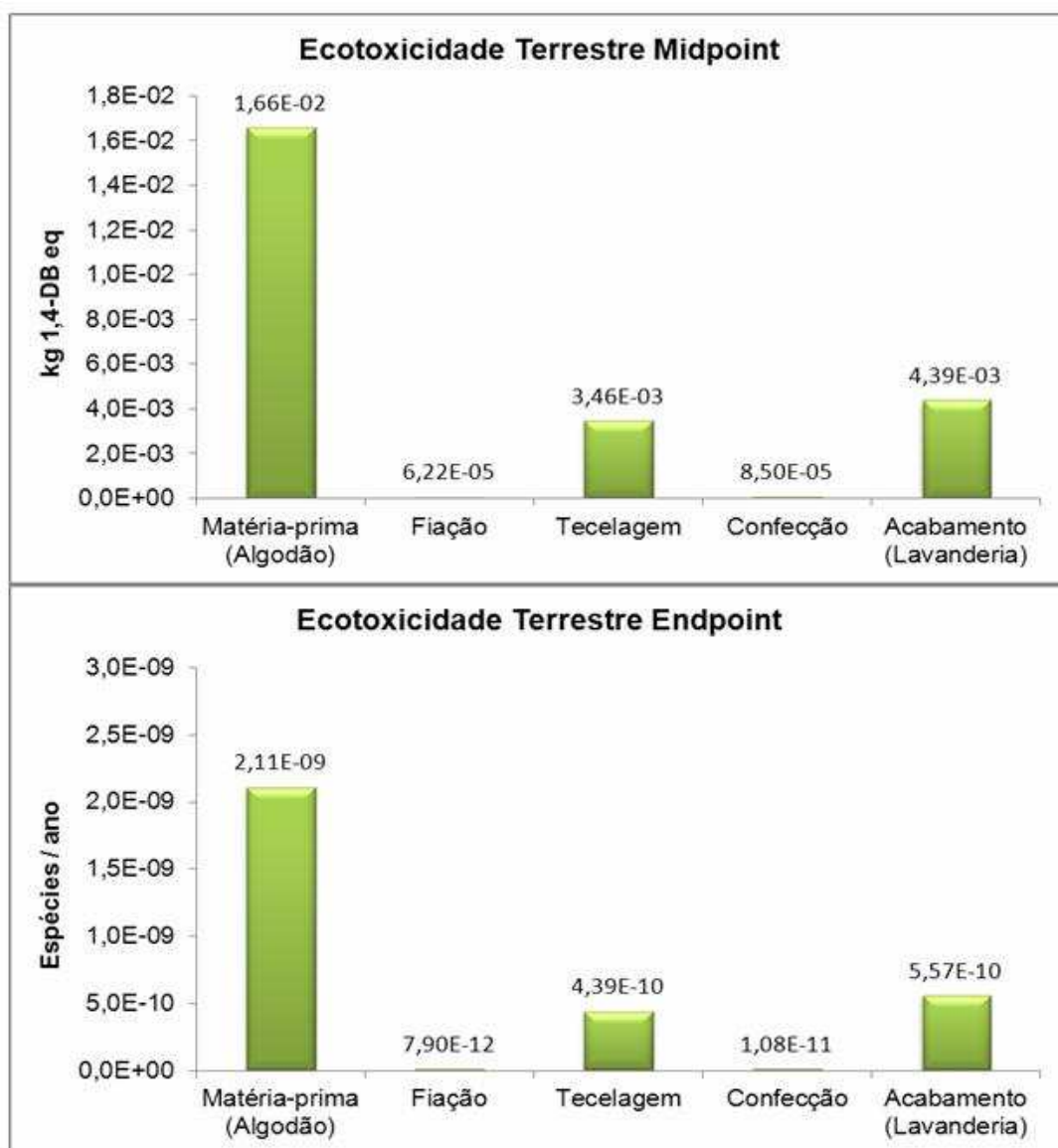
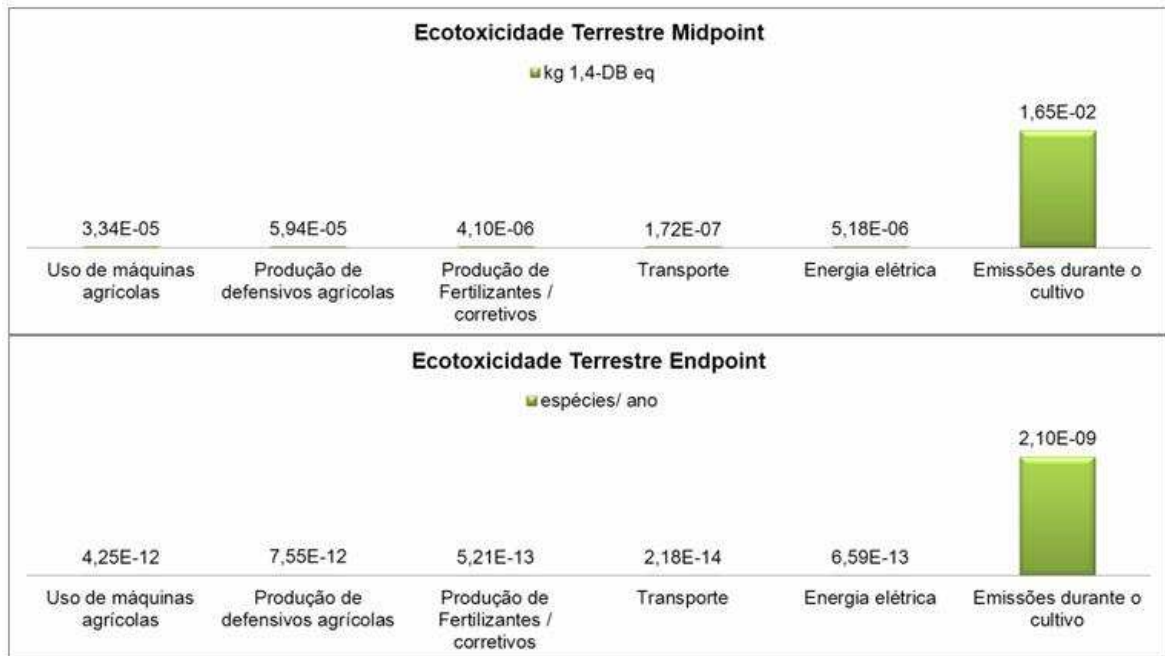


Figura 25 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Ecotoxicidade Terrestre

As emissões de substâncias químicas no solo, durante o cultivo, são responsáveis pelo alto impacto, conforme mostra a Figura 26. VAN DER WERF

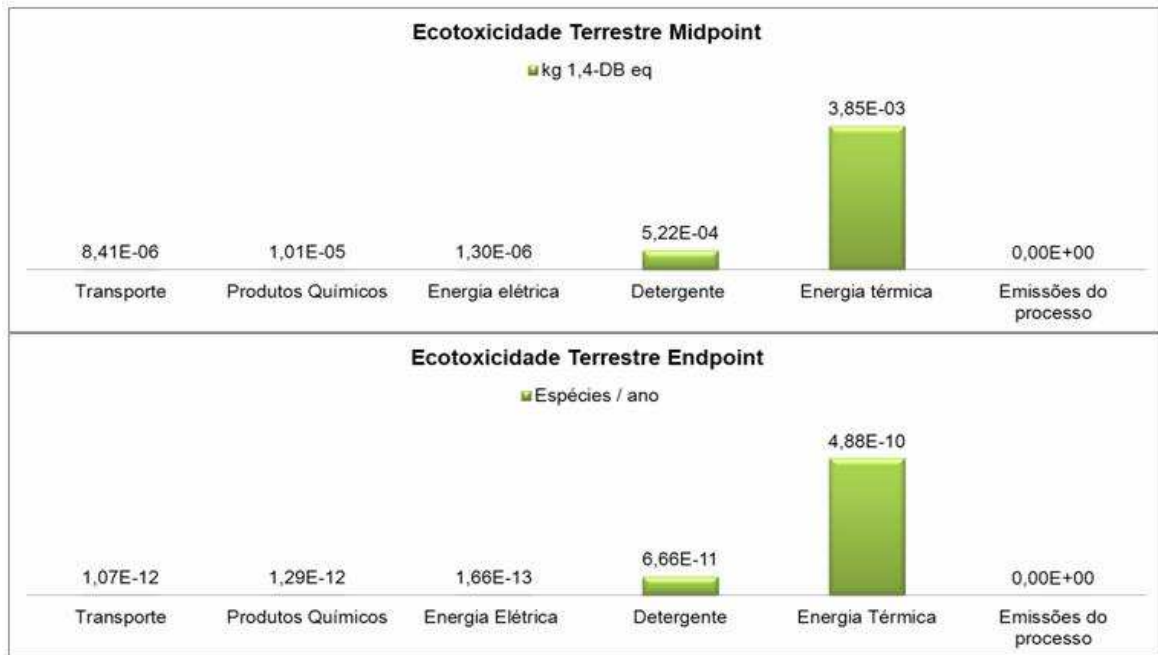
(2004) concluiu em seu estudo, sobre os impactos da produção da fibra de cânhamo, que as substâncias que contribuíram para a elevada ecotoxicidade Terrestre foram o Ni (70,2%) e Cd (26,3%).



**Figura 26 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Ecotoxicidade Terrestre na produção da matéria-prima (algodão)**

No caso do setor de acabamento, a energia térmica necessária para a secagem do material é a fonte causadora do impacto (ver Figura 27).

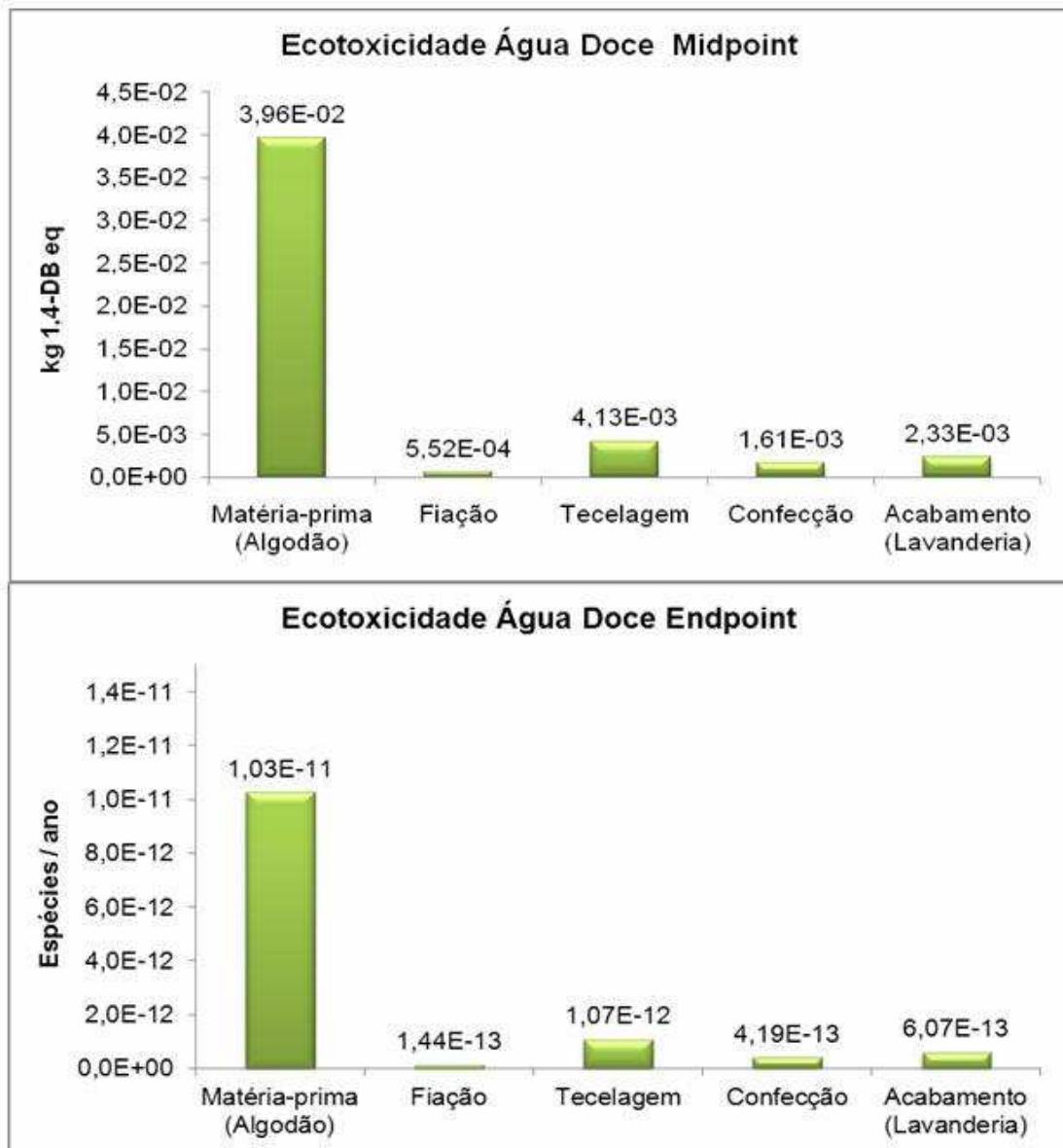




**Figura 27 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Ecotoxicidade Terrestre no acabamento (lavanderia)**

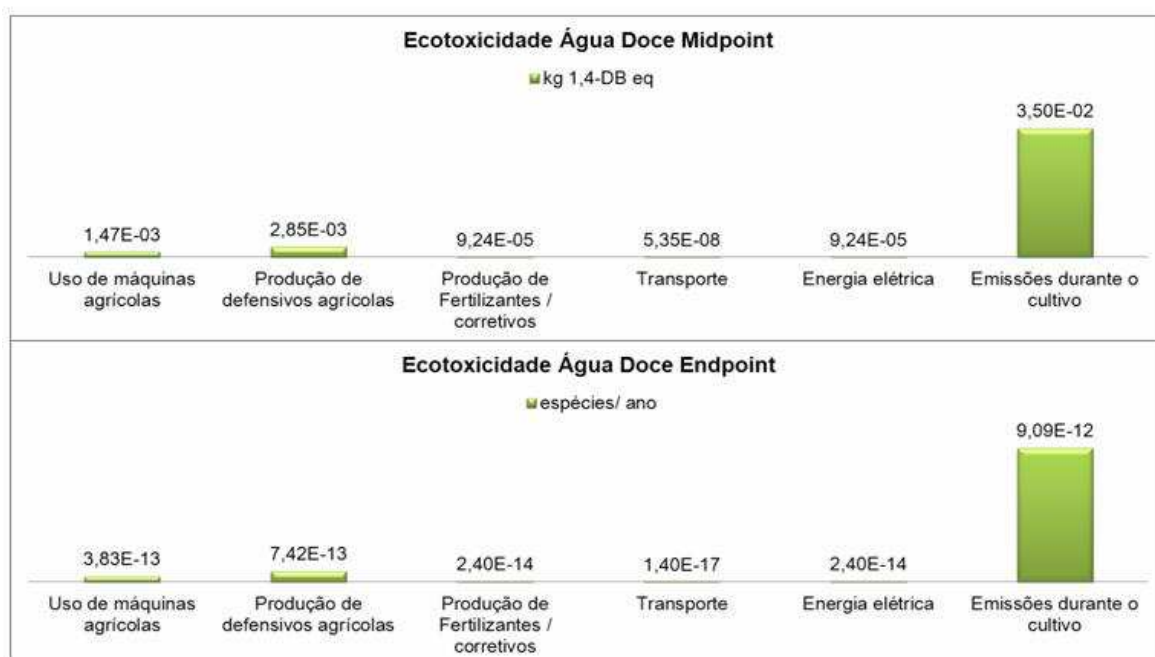
### Ecotoxicidade de água doce

A Figura 28 mostra maior impacto na Ecotoxicidade de água doce, durante a produção da matéria-prima (algodão).



**Figura 28 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Ecotoxicidade de água doce**

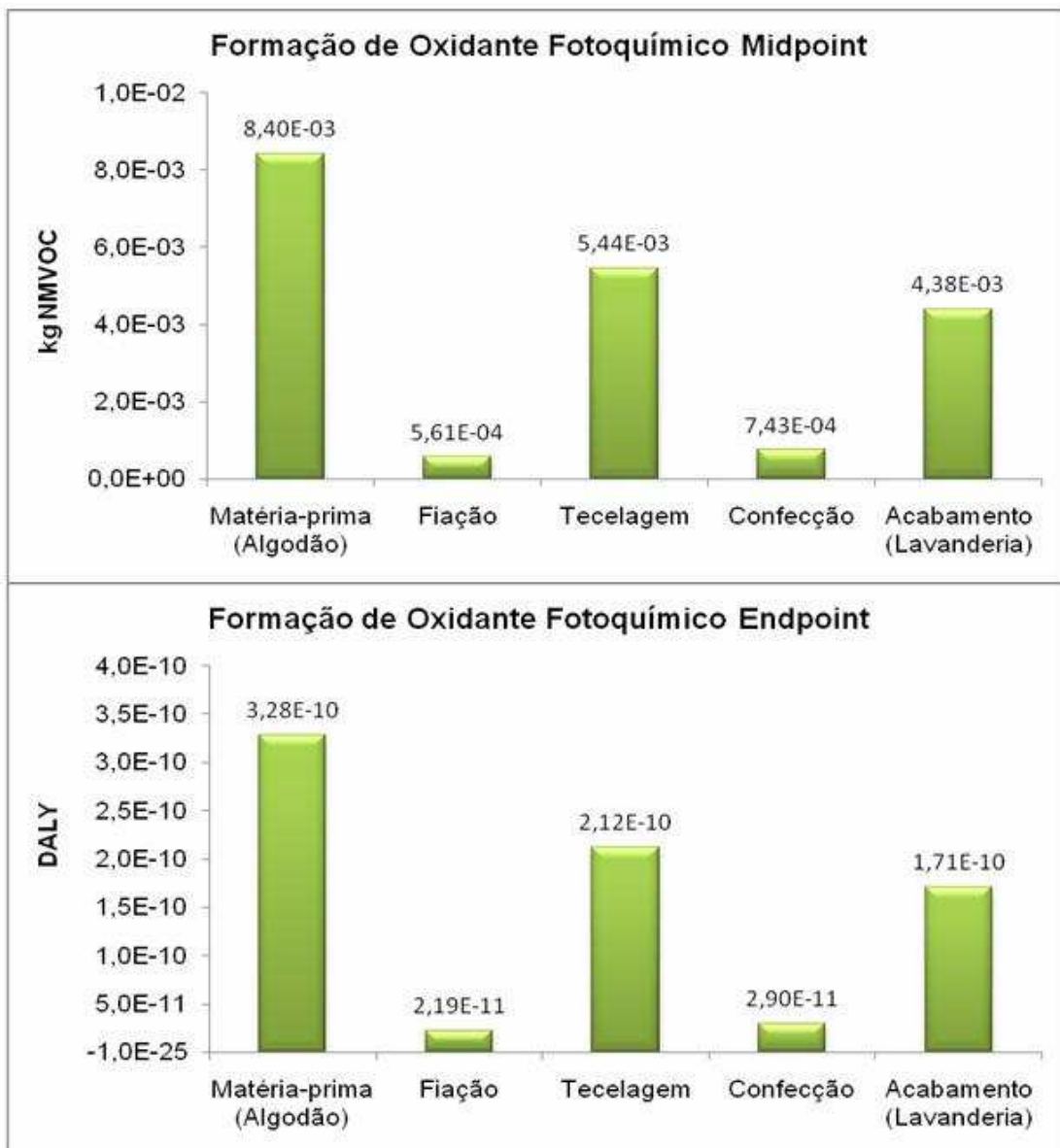
A deposição de substâncias tóxicas na água durante o cultivo do algodão são responsáveis pelo alto impacto (ver Figura 29). As substâncias nocivas, como os agrotóxicos, são carregadas pela lixiviação e se depositam nos rios, córregos e lençóis freáticos. SHEN *et al* (2010) verificou que na produção do algodão nos Estados Unidos os valores da ecotoxicidade são elevados devido ao uso de pesticidas.



**Figura 29 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Ecotoxicidade de água doce na produção da matéria-prima (algodão)**

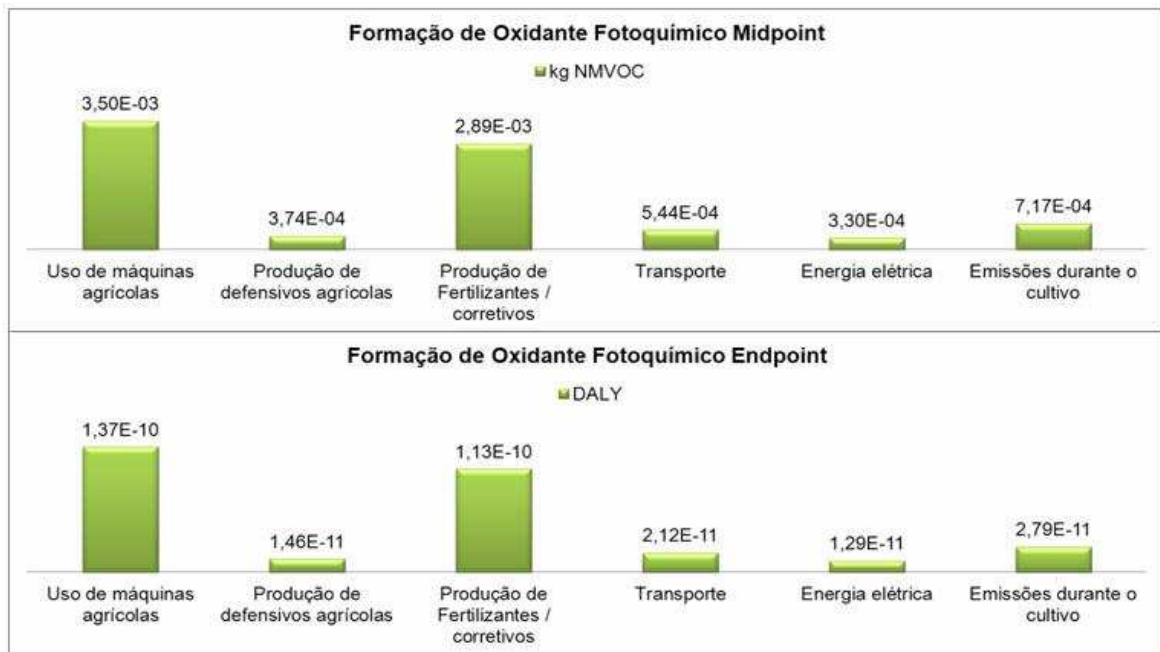
## FORMAÇÃO DE OXIDANTE FOTOQUÍMICO

Conforme Figura 30, a produção do algodão, beneficiamento / tecelagem e acabamento são responsáveis pelos maiores índices de formação de oxidante fotoquímico.



**Figura 30 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Formação de Oxidante Fotoquímico**

Os elevados impactos da produção do algodão podem ser explicados pelo consumo de combustível fóssil nos processos mecanizados de cultivo da fibra, na produção de fertilizantes e no transporte (Figura 31).



**Figura 31 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Formação de Oxidante Fotoquímico na produção de matéria-prima (algodão)**

No beneficiamento / tecelagem e acabamento os responsáveis pelo impacto são, principalmente, a queima de lenha na caldeira para a geração de energia térmica e em menor escala o consumo de diesel no transporte, conforme pode ser observado nas Figuras 32 e 33.

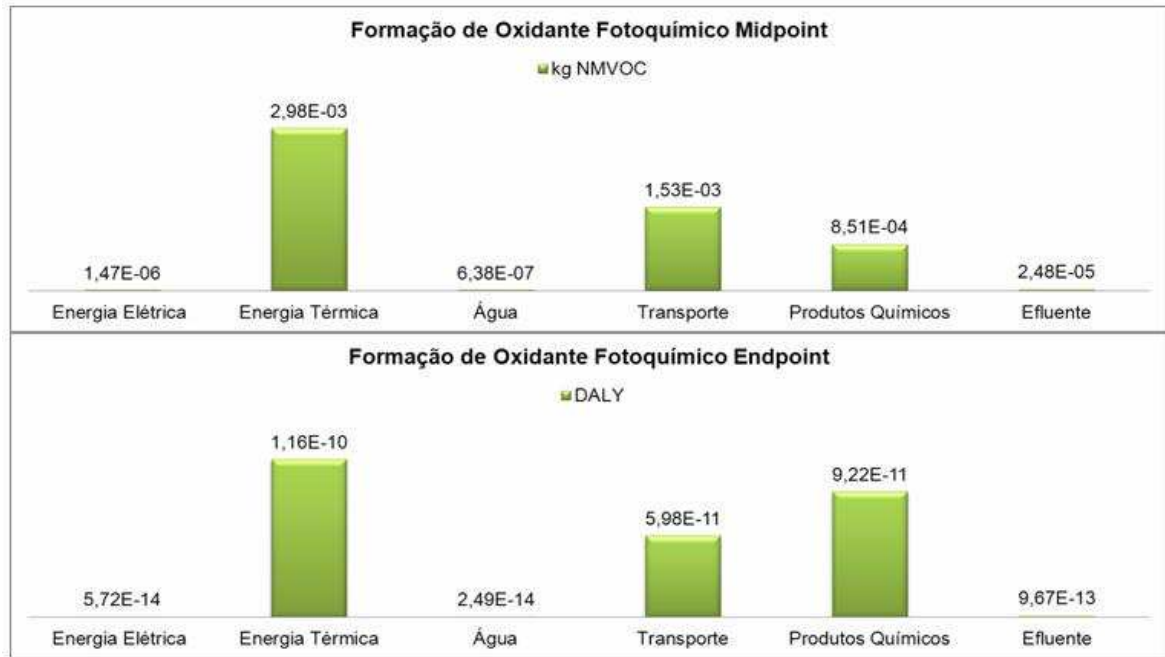


Figura 32 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Formação de Oxidante Fotoquímico no beneficiamento / tecelagem

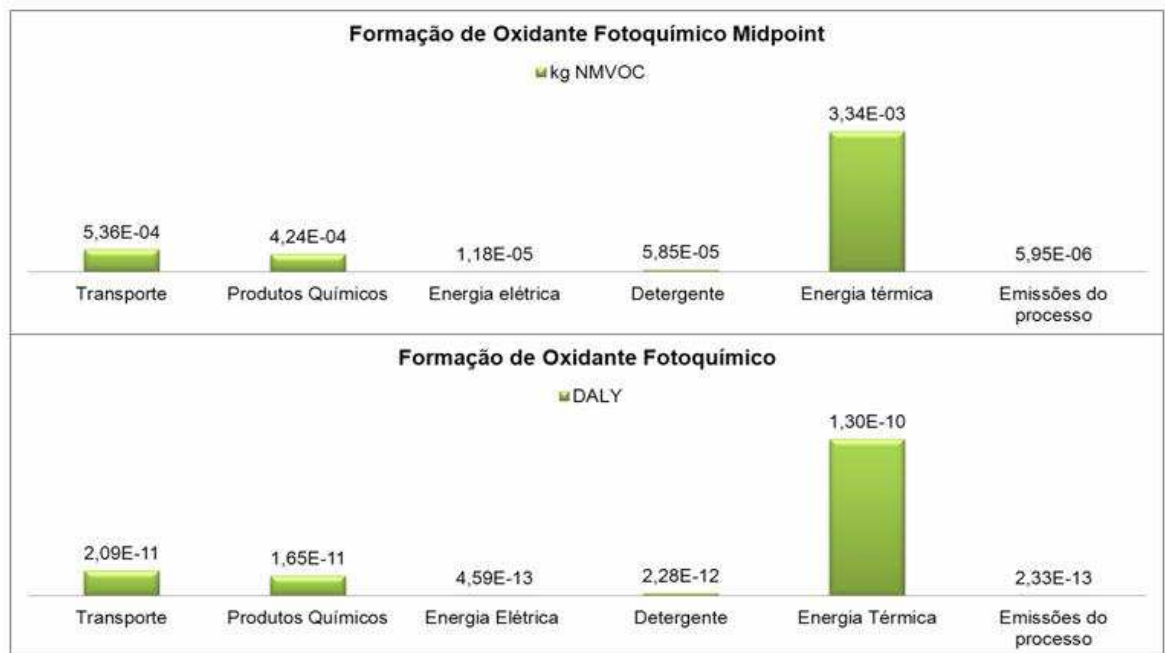


Figura 33 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Formação de Oxidante Fotoquímico no acabamento

## FORMAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO

As áreas de maior impacto ambiental foram a produção da matéria-prima com 39,2%, beneficiamento / tecelagem com 28,2% e acabamento com 13,9% (ver Figura 34).

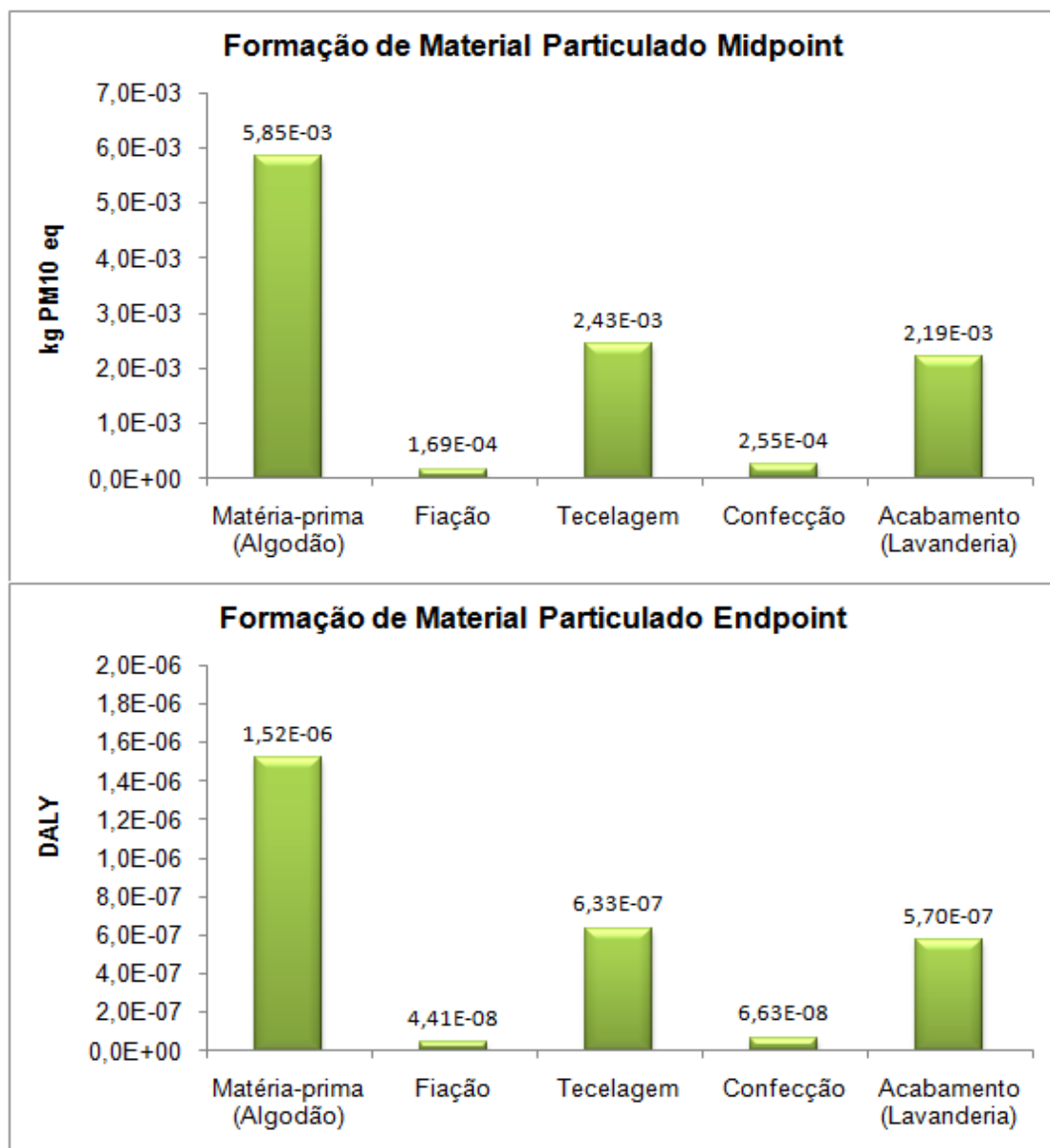
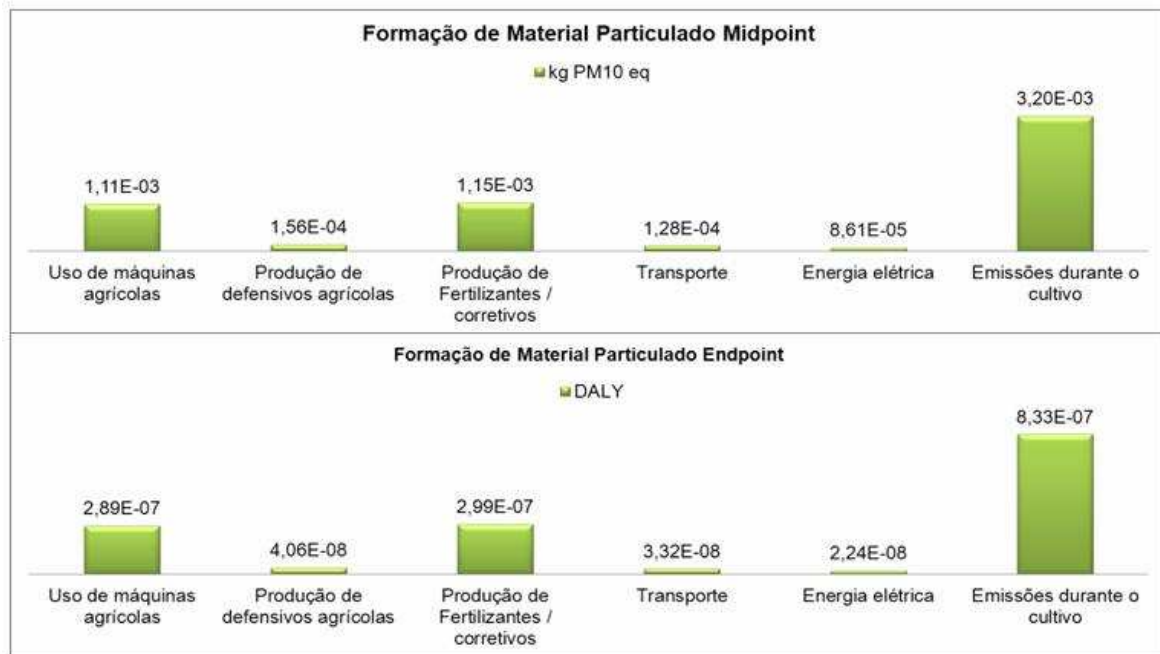


Figura 34 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Formação de Material Particulado

Assim como na formação de oxidante fotoquímico, no beneficiamento / tecelagem e no acabamento a queima de lenha na geração de energia térmica é responsável pelo impacto (ver Figuras 36 e 37), entretanto o alto índice de impacto da produção de matéria-prima se deve as emissões de material particulado na volatilização dos produtos químicos adicionados ao cultivo da fibra (Figura 35).



**Figura 35 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Formação de Material Particulado na produção de matéria-prima (algodão)**



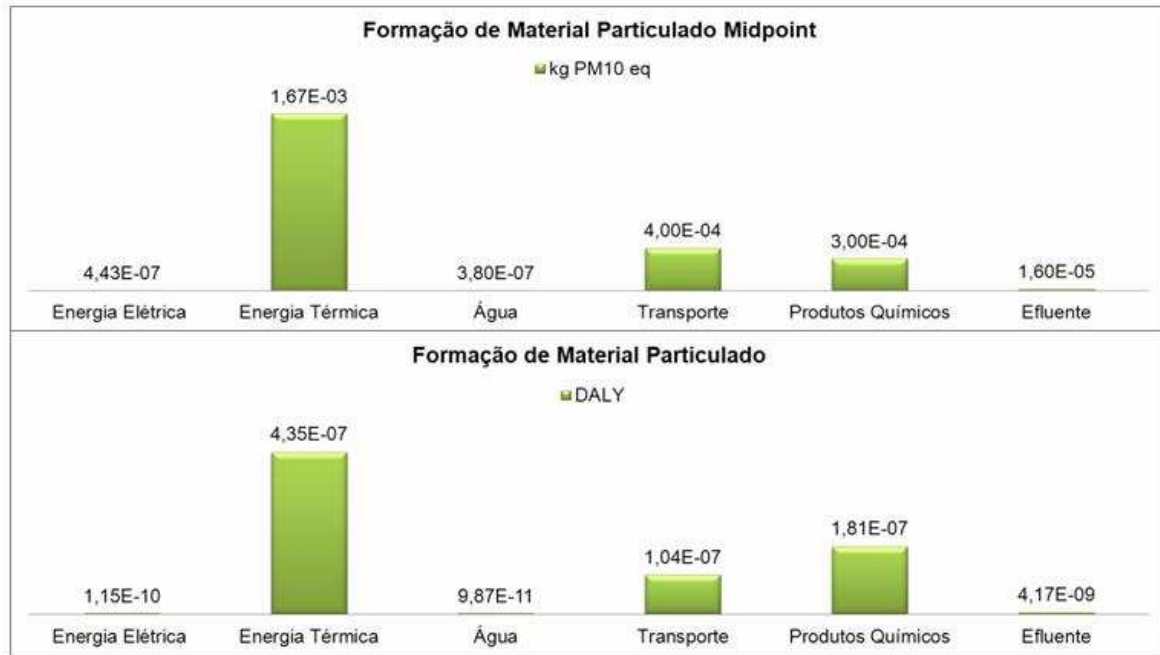


Figura 36 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Formação de Material Particulado no beneficiamento / tecelagem

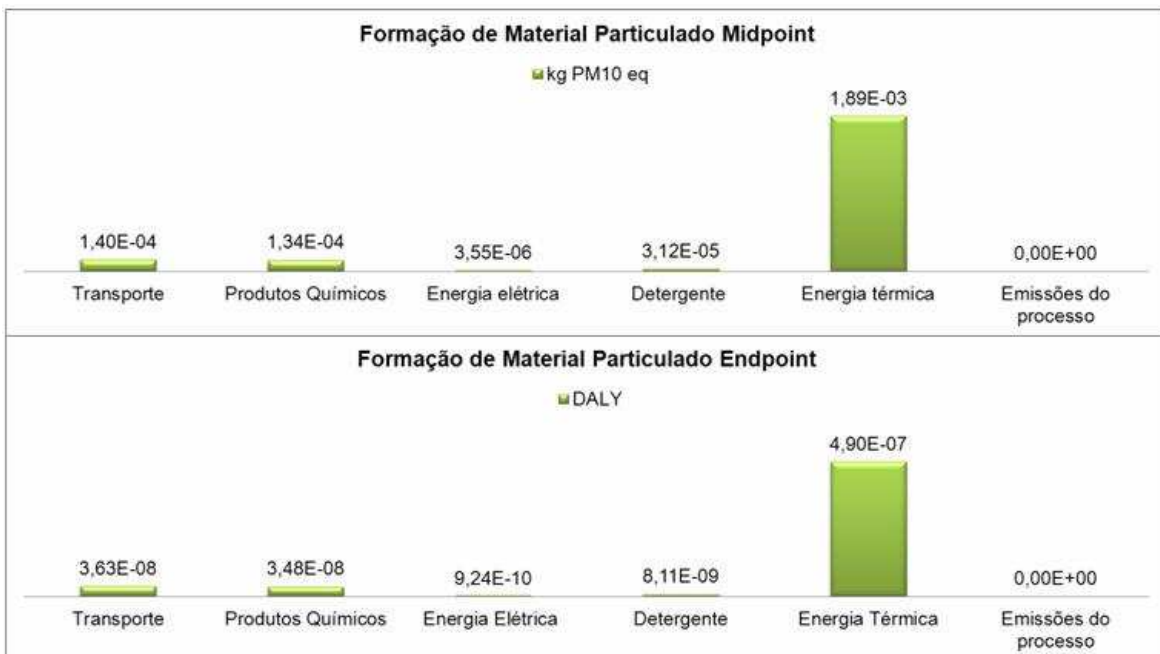
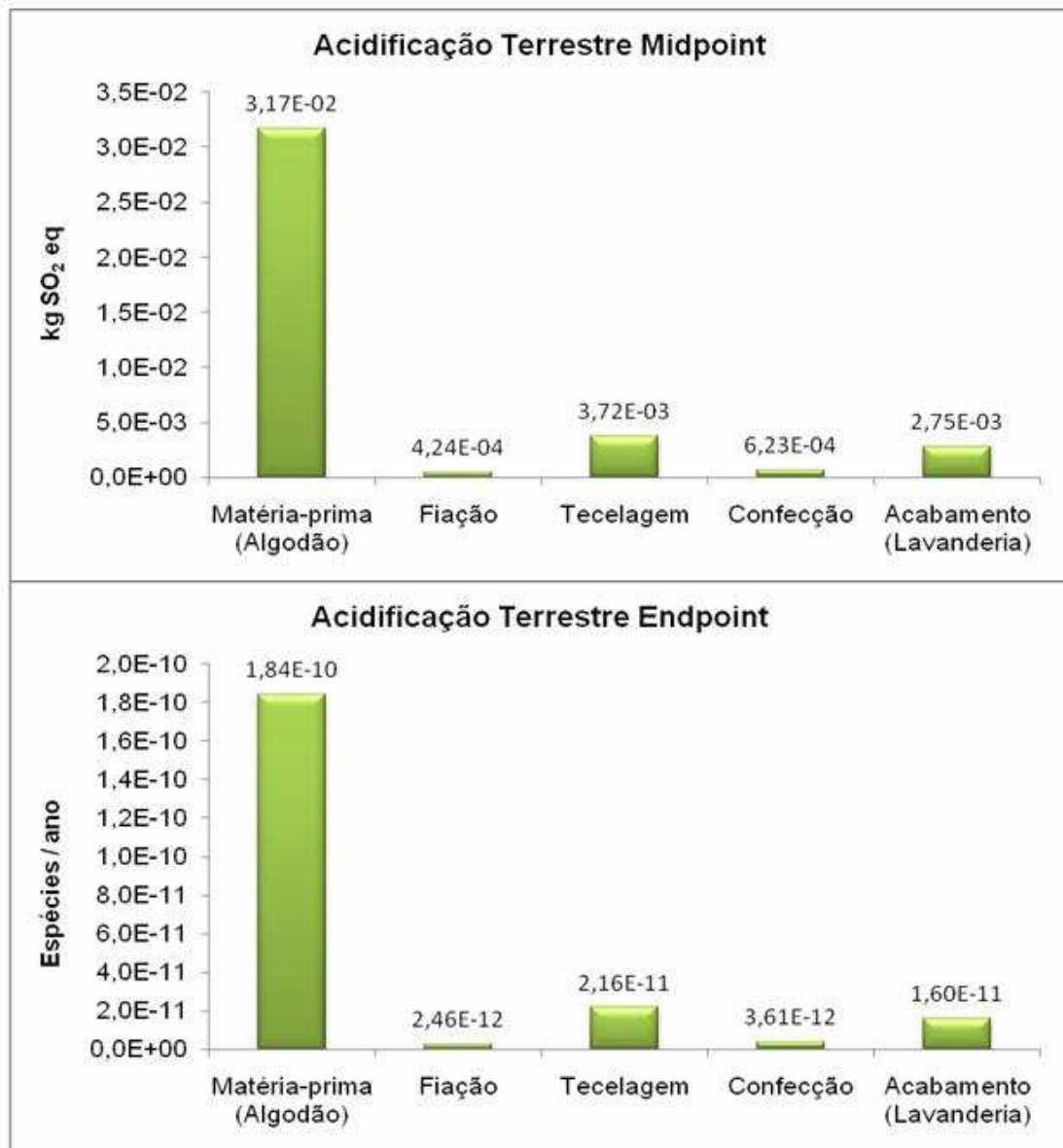


Figura 37 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Formação de Material Particulado no acabamento

## **ACIDIFICAÇÃO TERRESTRE**

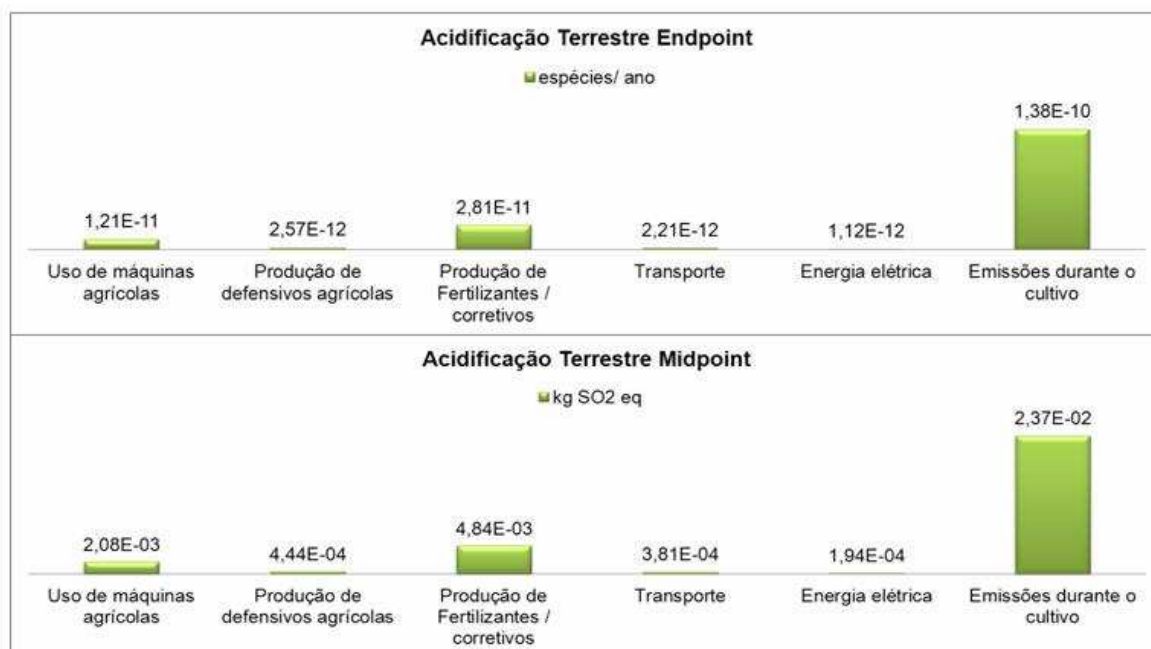
A produção do algodão corresponde a 60,7% do total de emissões de kg de SO<sub>2</sub>-equivalente na produção de calça jeans (Figura 38).



**Figura 38 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Acidificação Terrestre**

Como pode ser observado na Figura 39 as emissões durante o cultivo do algodão são responsáveis pelos altos impactos. Mais especificamente, as emissões de NH<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub> provenientes da fertilização e outras substâncias tóxicas liberadas pelos inseticidas. No artigo publicado por VAN DER WERF (2004) as emissões durante o cultivo de cânhamo também causa grande impacto (33%). Em outro estudo de SHENet *al* (2010) o algodão produzido nos Estados Unidos apresentou 0,039 kg SO<sub>2</sub> eq./0,9417 kg de fibra (referente a quantidade

necessária de matéria-prima para a produção de uma calça jeans) em comparação aos resultados apresentados (0,032 kg SO<sub>2</sub> eq. / 0,9417 kg de algodão), observando-se grande equivalência.



**Figura 39 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Acidificação Terrestre na produção da matéria-prima (algodão)**

## EUTROFIZAÇÃO DE ÁGUA DOCE

O maior impacto pode ser observado na produção de algodão, conforme Figura 40, e a utilização de fertilizantes a base de fósforo é responsável por este valor elevado nas emissões durante o cultivo (ver Figura 41). No caso do beneficiamento / tecelagem e acabamento, o uso de energia elétrica na produção dos produtos químicos (Figuras 42 e 43) é uma das causas dos altos impactos. Mas estes resultados devem ser analisados com ressalvas, pois devido a falta de um inventário brasileiro, referentes a produção de produtos químicos como o cloreto de sódio, corantes, entre outros, não é possível determinar com exatidão a causa dos impactos.

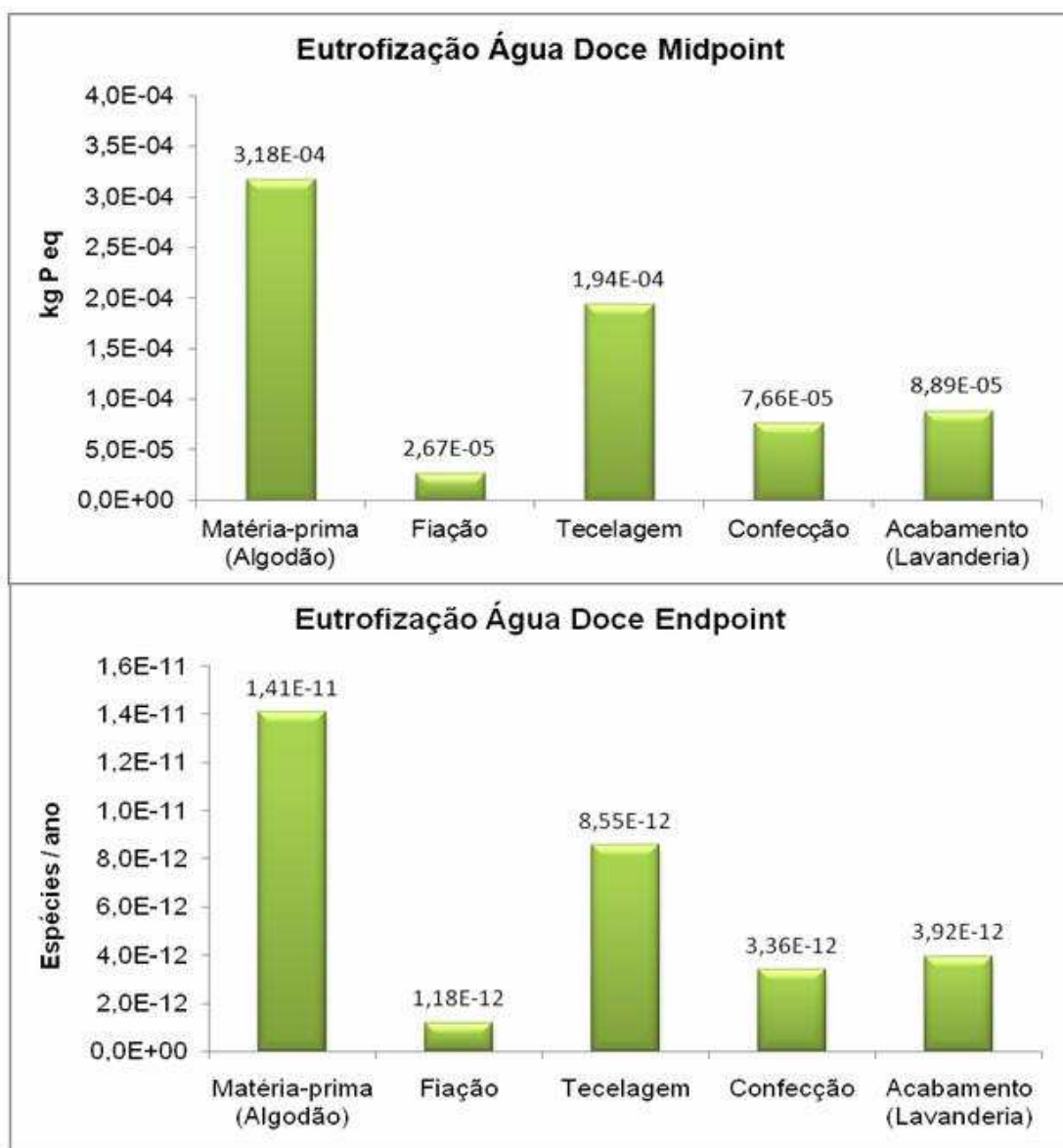


Figura 40 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Eutrofização de Água Doce

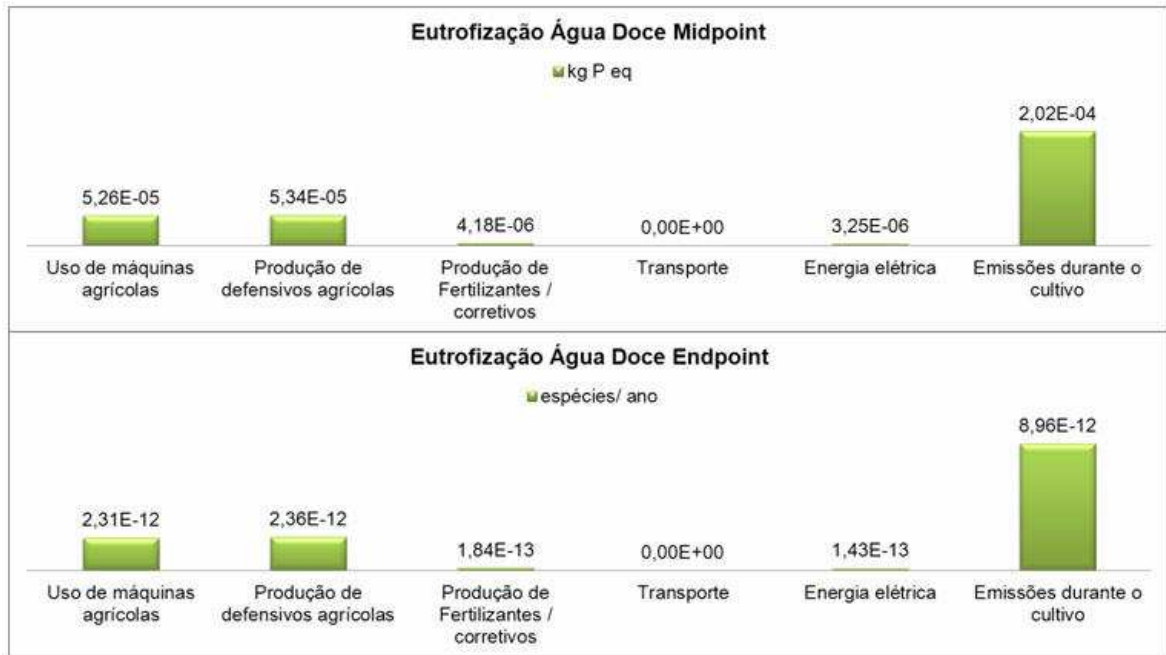


Figura 41 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Eutrofização de Água Doce na produção da matéria-prima (algodão)

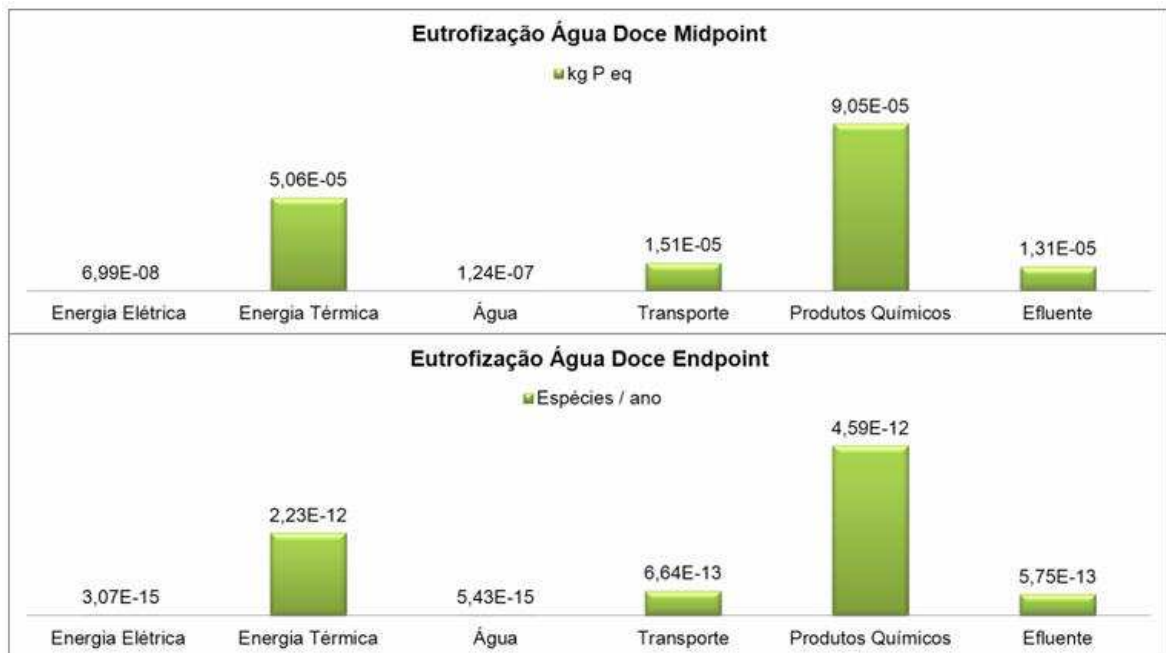
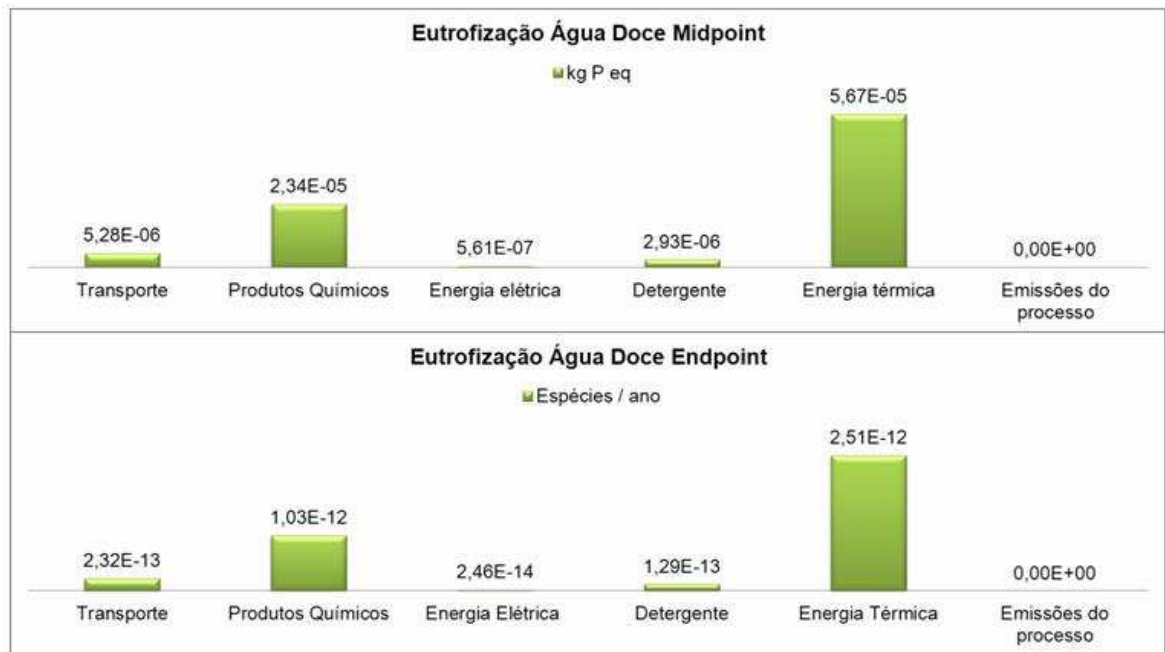


Figura 42 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Eutrofização de Água Doce no beneficiamento / tecelagem



**Figura 43 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Eutrofização de Água Doce no acabamento (lavanderia)**

## **IMPACTOS DO USO DA TERRA**

A categoria impactos do uso da terra reflete os danos ao ecossistema devido ao efeito da ocupação e transformação da terra.

### **Ocupação Agrícola e Urbana**

Como pode ser visualizado na Figura 44 a produção de algodão é responsável pelo impacto da ocupação de terras agrícolas. E em menor escala a energia térmica no acabamento e beneficiamento / tecelagem, por utilizar lenha para o fornecimento de energia.

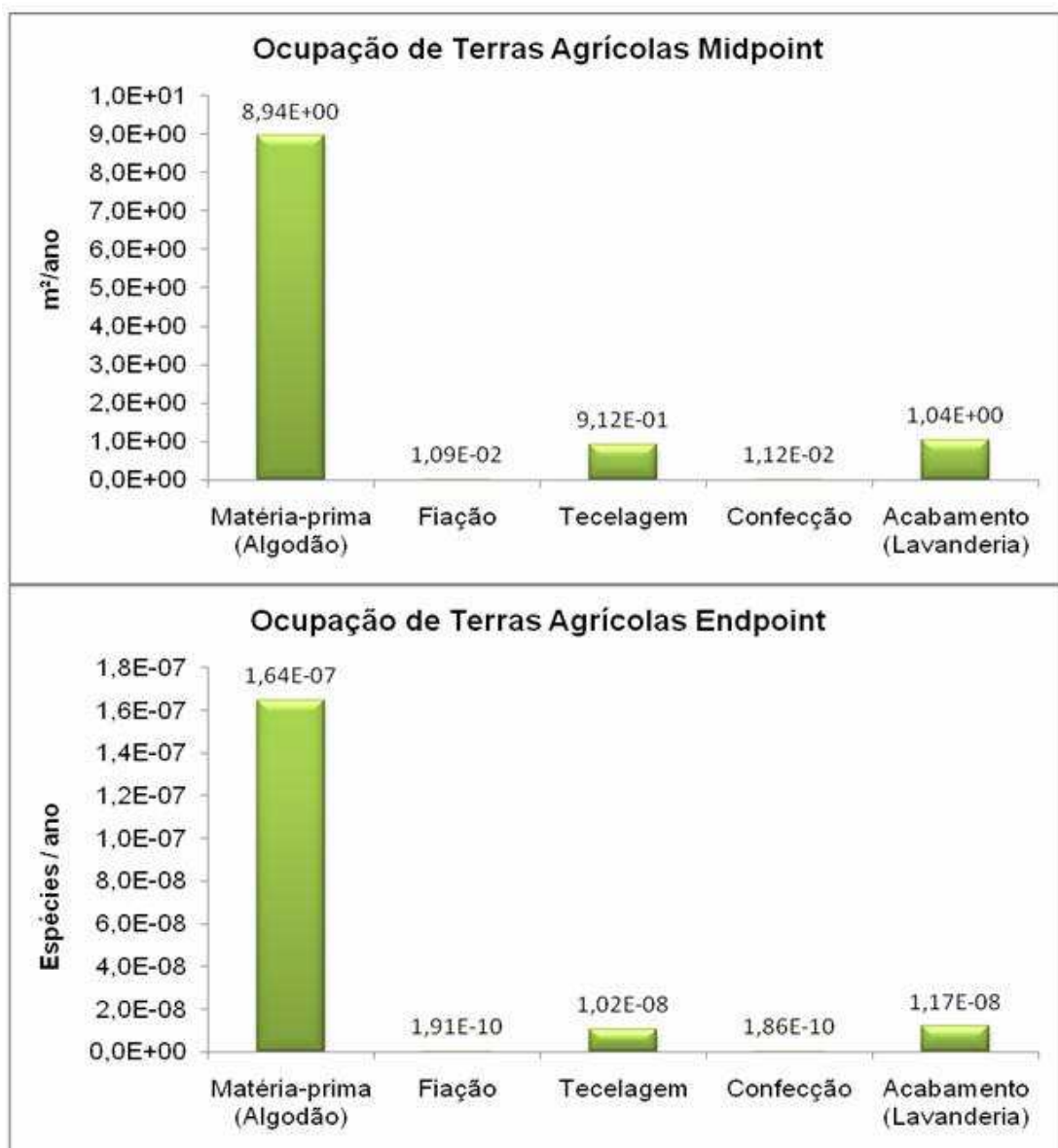
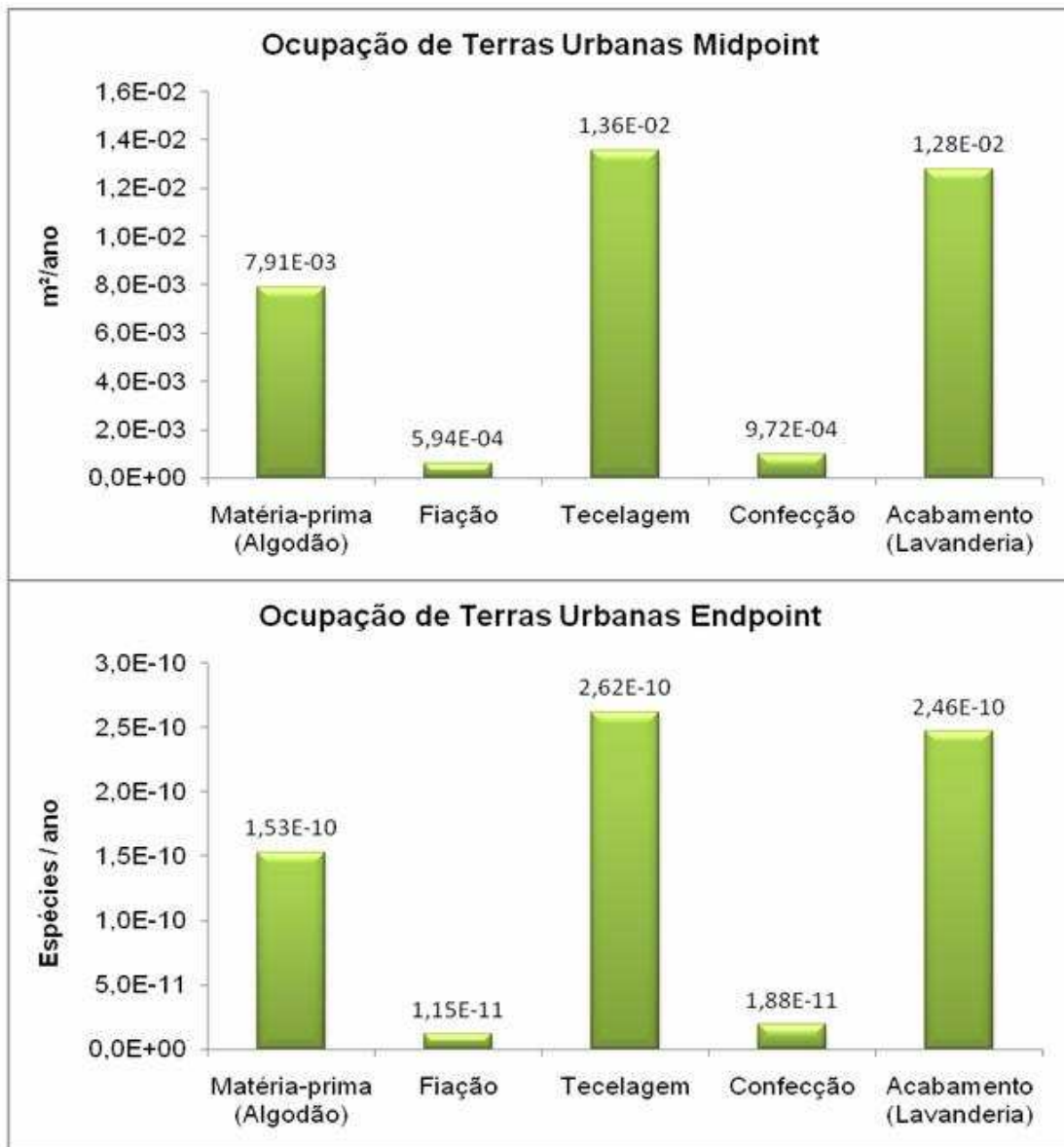


Figura 44 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Ocupação de Terras Agrícolas

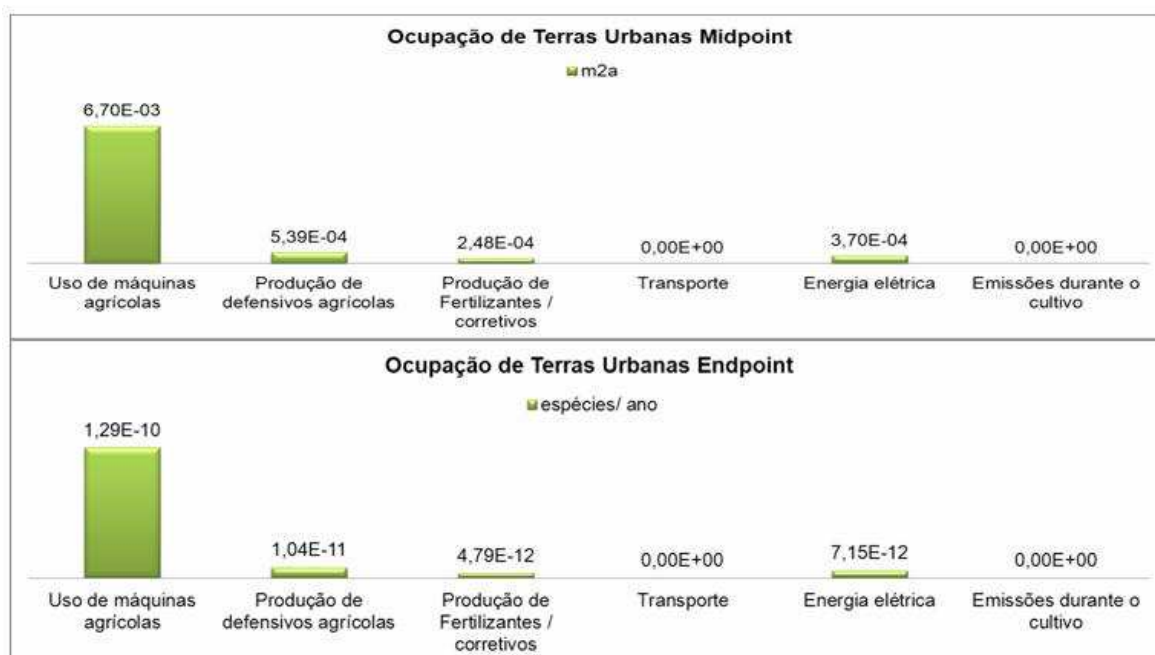


Na Figura 45, que corresponde à ocupação de terras urbanas, as áreas de beneficiamento / tecelagem, acabamento e produção da matéria-prima causam os maiores impactos.



**Figura 45 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Ocupação de Terras Urbanas**

Na produção do algodão, as construções de galpões, necessários para estocagem de materiais (máquinas agrícolas e implementos), são responsáveis pela ocupação de área urbana (Figura 46).



**Figura 46 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Ocupação de Terras Urbanas na produção da matéria-prima**

No beneficiamento / tecelagem (Figura 47) e no acabamento (Figura 48), a geração de energia térmica por queima de lenha é responsável pelo maior impacto, devido ao fato que para a produção de lenha necessita-se de grandes espaços para armazenamento da lenha. Outro setor causador de impacto nestas áreas é o transporte, por necessitar de estradas para a locomoção dos caminhões.

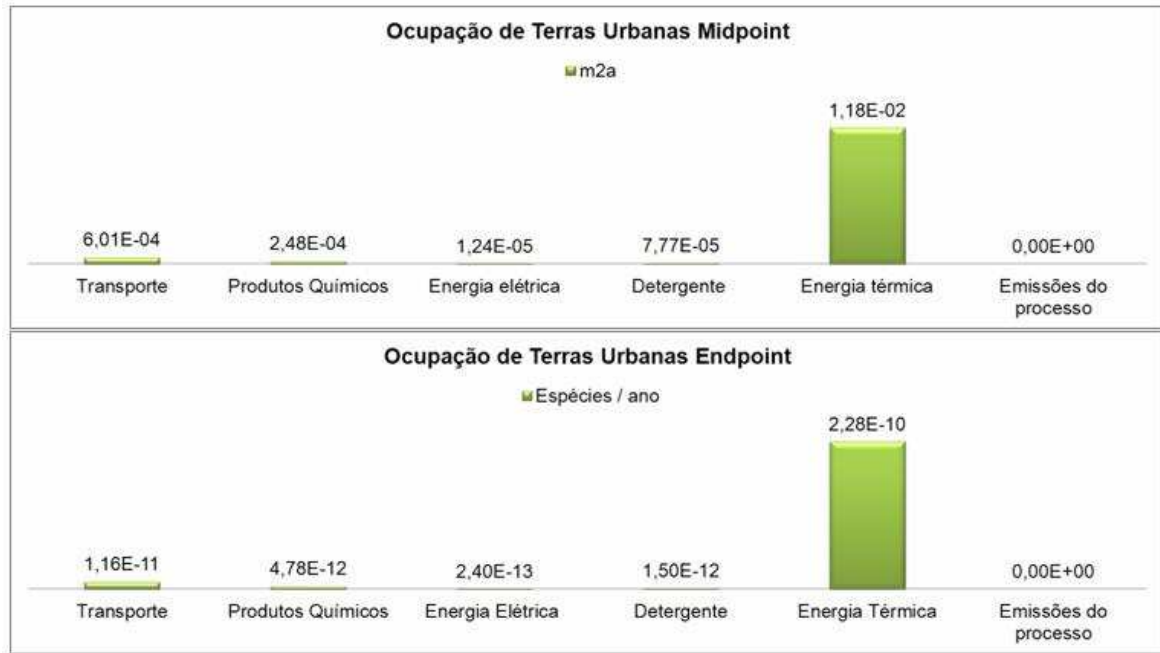


Figura 47 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Ocupação de Terras Urbanas no beneficiamento / tecelagem

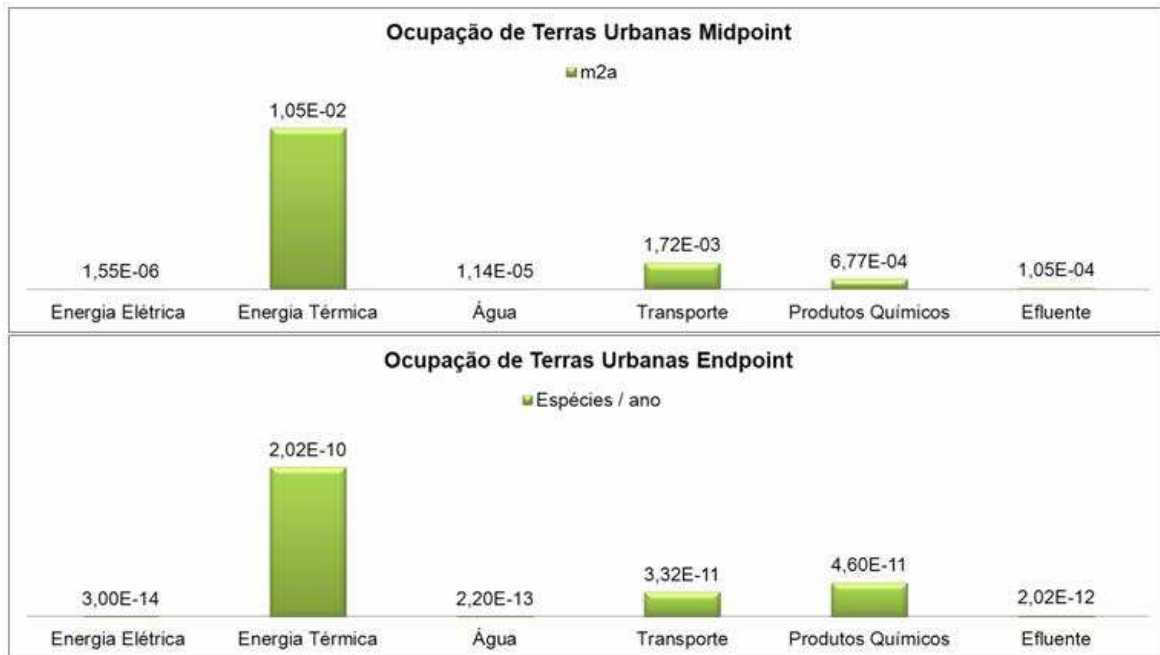


Figura 48 - Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Ocupação de Terras Urbanas no Acabamento

## **TRANSFORMAÇÃO DE TERRAS VIRGENS**

Esta categoria sofre impactos de todos os setores, principalmente da geração de energia (ver Figura 49). A energia elétrica utilizada em grande escala na fiação, beneficiamento / tecelagem e confecção e a energia térmica utilizada no beneficiamento / tecelagem (mais especificamente no beneficiamento) e no acabamento, são responsáveis pelas altos impactos no midpoint. Entretanto, no endpoint (ver Figura 49) a produção do detergente que utiliza óleo de palma que tem como consequência a transformação de terras virgens responde pelo alto impacto nesta categoria.

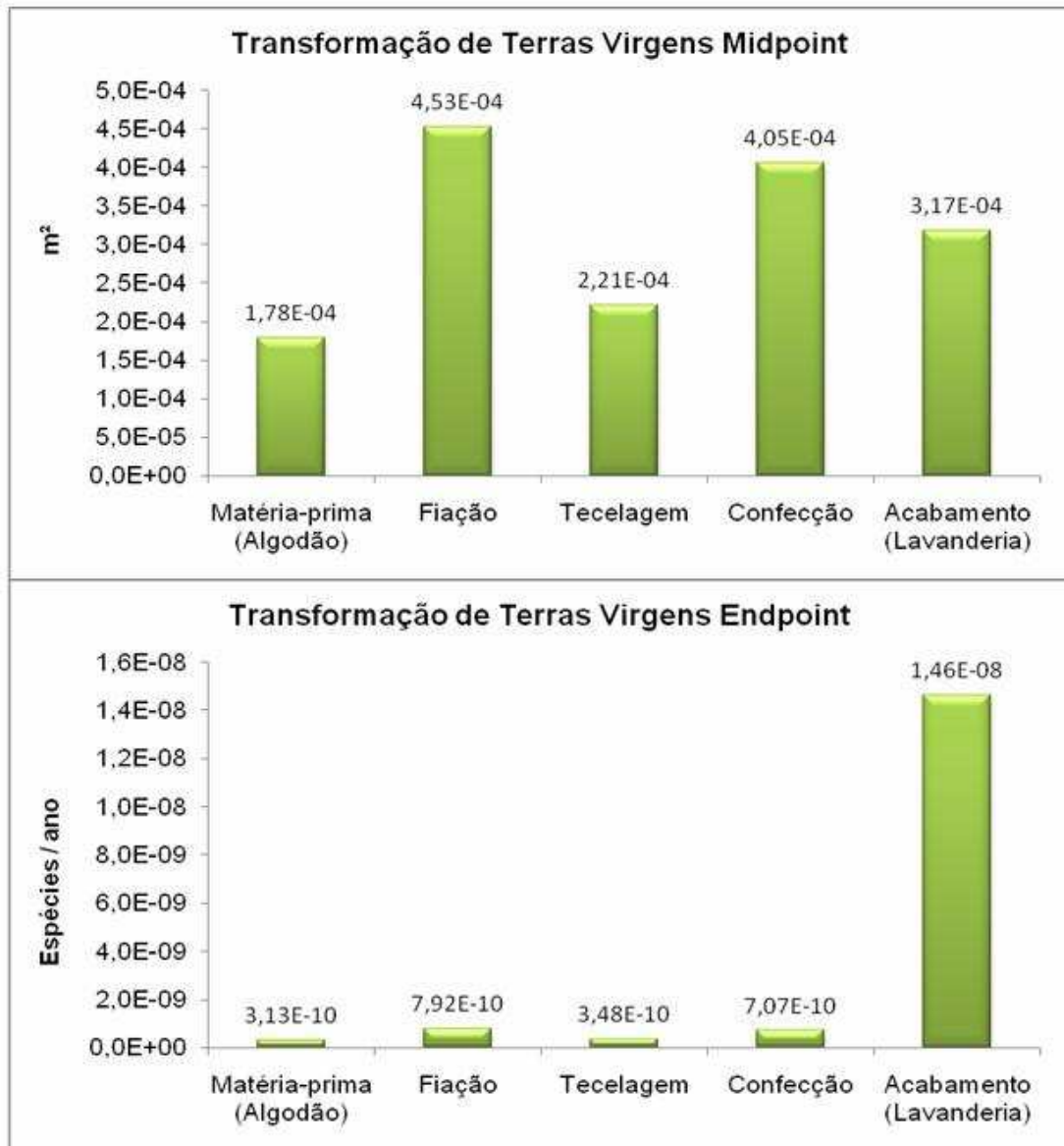


Figura 49 - Resultados de caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Transformação de Terras Virgens

## DEPLEÇÃO DA ÁGUA

Esta categoria é analisada somente no midpoint, e como pode ser visto na Figura 50, o acabamento é responsável por 100% da depleção da água, pois a água utilizada neste processo tem sua origem nos lençóis freáticos, diferentemente do beneficiamento / tecelagem que utiliza água de rios como afluyente e depois de tratada retorna ao rio.



Figura 50 - Resultados da caracterização *Midpoint* da categoria de impacto Depleção da Água

### DEPLEÇÃO DE RECURSOS MINERAIS

A depleção de recursos minerais é influenciada pela utilização de metais na produção das máquinas agrícolas e caminhões (Figura 51). Os metais também são utilizados na produção de equipamentos e construção de plantas das indústrias e também na geração de energia elétrica. Apesar de utilizar menor quantidade de energia elétrica comparada aos outros processos, a confecção apresentou altos valores devido a utilização de eletricidade de baixa voltagem, portanto os impactos são referentes as linhas de transmissão.

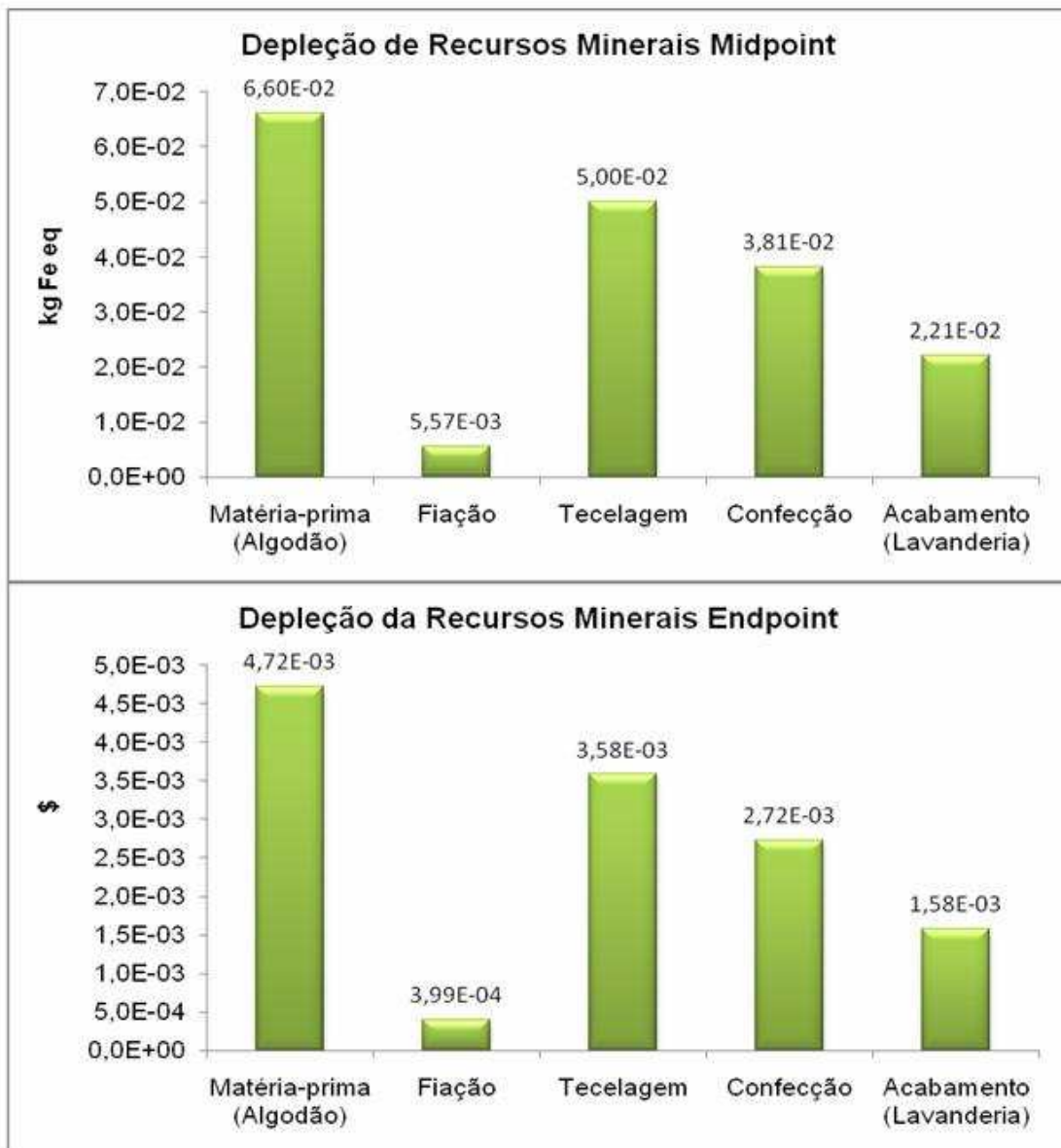


Figura 51- Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Depleção de Recursos Minerais

## DEPLEÇÃO DE RECURSOS FÓSSEIS

Conforme a Figura 52, a matéria-prima, o beneficiamento / tecelagem e o acabamento são os maiores causadores da depleção de recursos fósseis. O consumo de óleo diesel no transporte e nas atividades agrícolas e a produção de fertilizantes (produção da matéria-prima), o consumo de combustível na geração de energia térmica, e na produção de produtos químicos (beneficiamento /

tecelagem e acabamento) são os principais causadores da depleção do combustível fóssil.

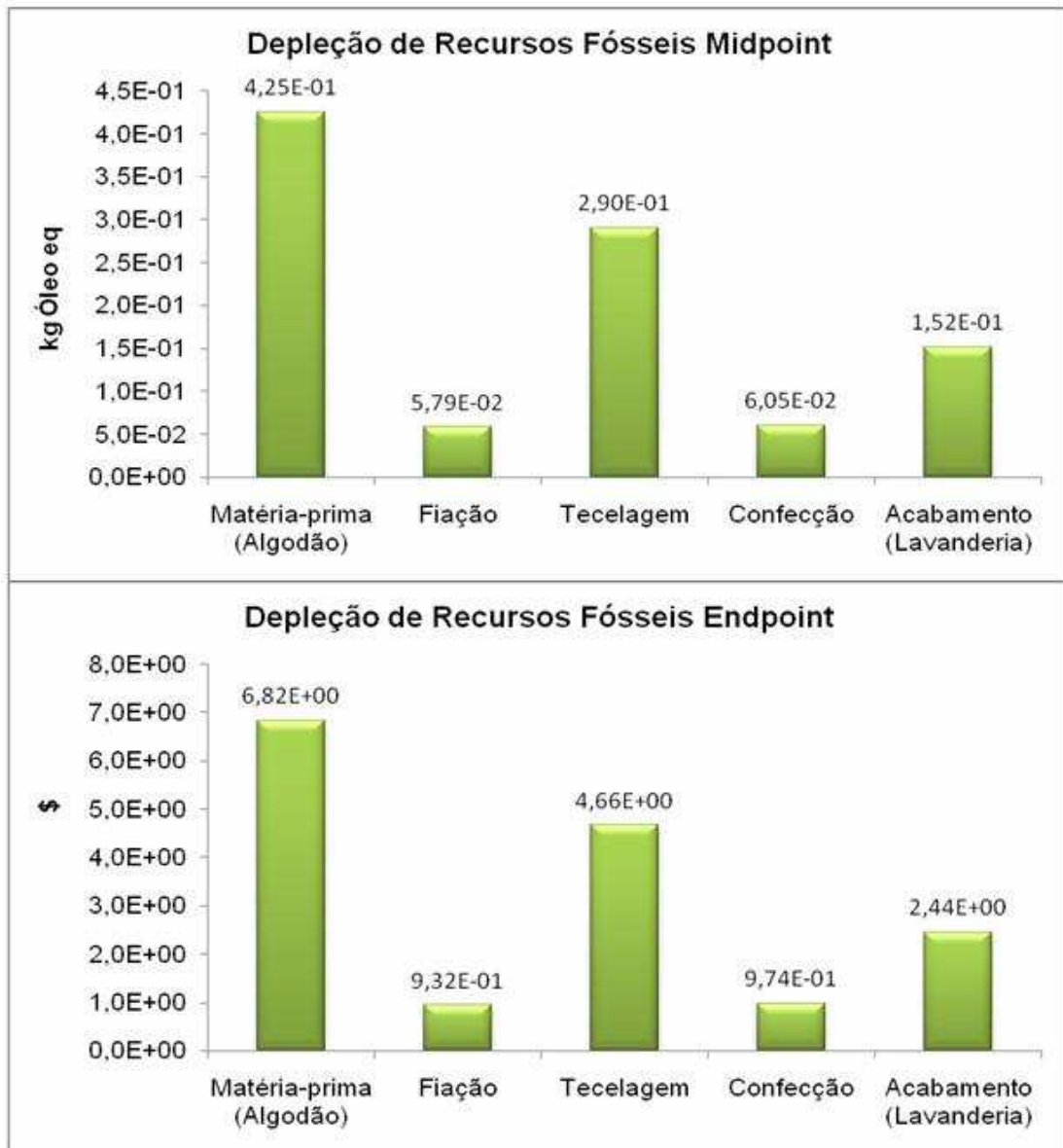


Figura 52- Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Depleção de Recursos Fósseis



## Matéria-prima (algodão)

Na produção de algodão (Figura 53), a produção de fertilizantes consome grandes quantidades de combustíveis (gás natural, óleo bpf, entre outros), contribuindo para a depleção dos mesmos. Outro fator é o consumo de óleo diesel nas atividades agrícolas e no transporte da fibra.

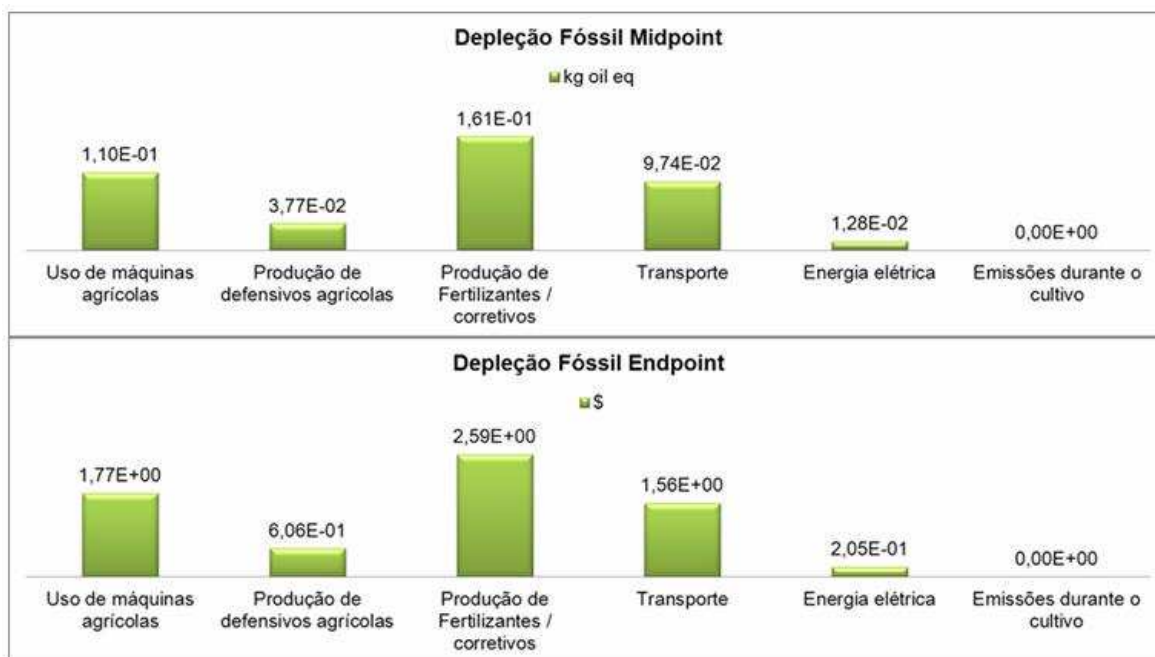


Figura 53- Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Depleção de Recursos Fósseis na produção da matéria-prima (algodão)

## Beneficiamento / Tecelagem e Acabamento

No beneficiamento / tecelagem e acabamento, os principais combustíveis consumidos são o gás natural na produção dos produtos químicos e óleo diesel no transporte dos materiais e são responsáveis pelos altos impactos (ver Figuras 54 e 55).

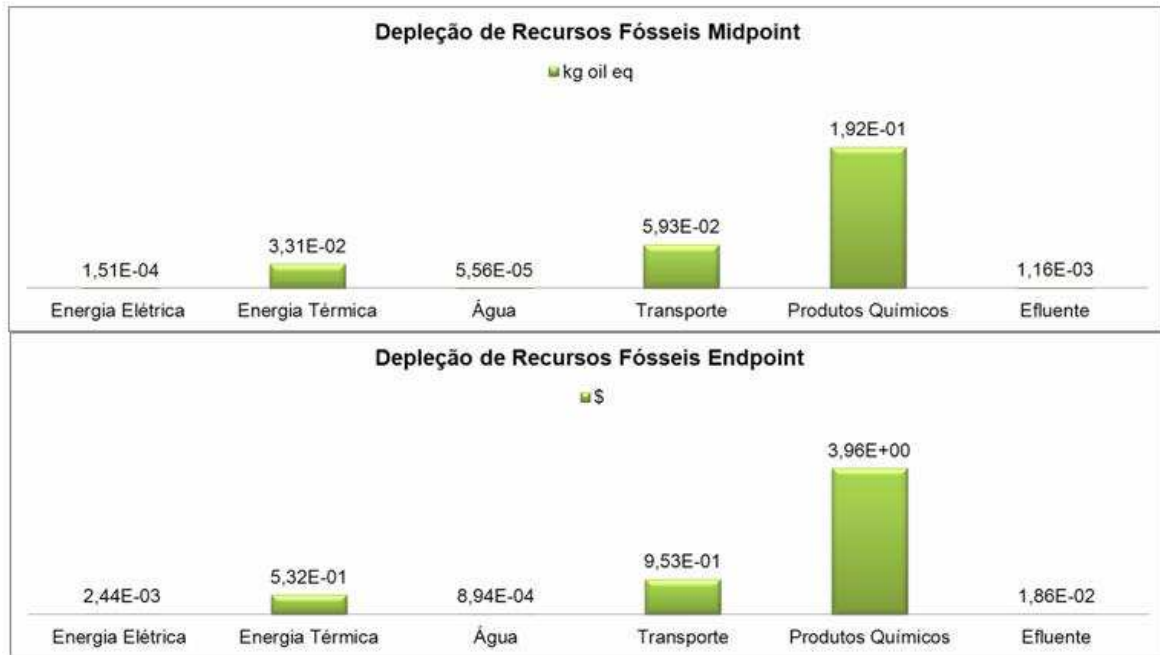


Figura 54- Resultados de caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Depleção de Recursos Fósseis no beneficiamento / tecelagem

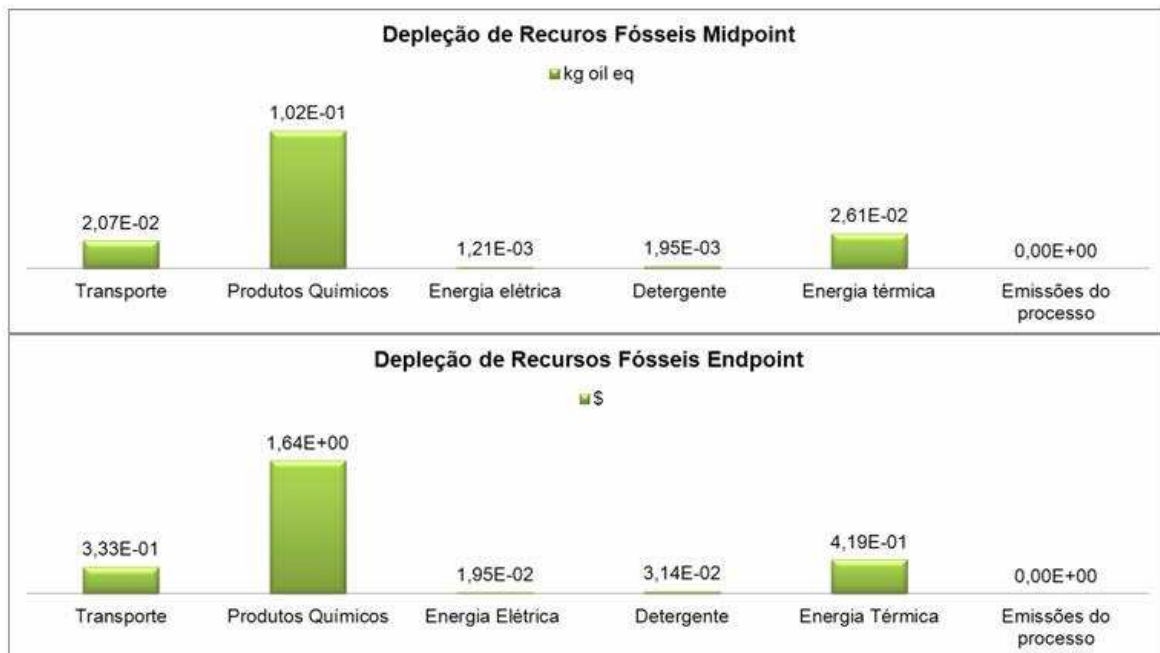


Figura 55- Resultados da caracterização *Midpoint* e *Endpoint* da categoria de impacto Depleção de Recursos Fósseis no acabamento

## 6.2. NORMALIZAÇÃO

No presente estudo utilizou-se referências globais para a normalização. E a relevância das categorias de impacto referem-se aos impactos no âmbito global, não correspondendo ao território brasileiro. Os autores europeus utilizam índices regionais (europeus) para a análise, o que garante maior confiabilidade neste tipo de análise (normalização).

Na Figura 56, pode-se observar que na produção de uma calça jeans, as categorias de impactos ambientais mais relevantes foram a toxicidade humana, ecotoxicidade de água doce, marinha, eutrofização de água doce, ecotoxicidade terrestre. Assim como na caracterização, na categoria toxicidade humana o beneficiamento / tecelagem e o acabamento foram os setores responsáveis pelos maiores impactos, na categoria ecotoxicidade de água doce a produção da matéria-prima (algodão) exerceu grande impacto. No estudo realizado por SHEN *et al* (2010), que mostram os resultados para a fibra de algodão produzido nos Estados Unidos, a ecotoxicidade de água doce também é grande influenciadora nos impactos da produção do algodão, os resultados de ecotoxicidade marinha e terrestre não foram publicados. E segundo SLEESWIJK *et al* (2008) a ecotoxicidade terrestre e de água doce sofre impactos pelas emissões de pesticidas no solo agrícola, o que justifica os altos valores encontrados neste estudo. Os resultados encontrados por SHEN *et al* (2010) e SLEESWIJK *et al* (2008) apresentam coerência com o presente estudo e demonstram que as atividades agrícolas que utilizam produtos químicos, como o cultivo de algodão, acarretam em toxicidades em seres humanos e em corpos aquáticos.

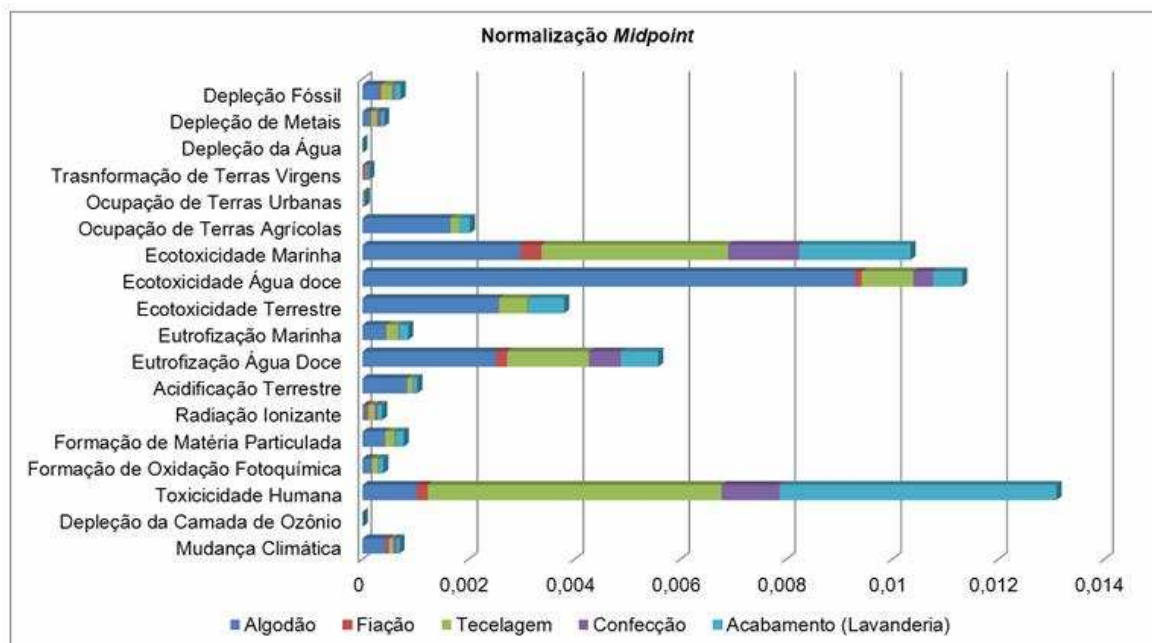


Figura 56- Resultados da normalização *Midpoint* para a calça jeans

O setor de beneficiamento / tecelagem apresentou maiores impactos nas categorias de ecotoxicidade marinha, toxicidade humana e eutrofização de água doce. E o grande causador da ecotoxicidade marinha e da toxicidade humana foi a geração de energia térmica por meio da queima de lenha e a produção de produtos químicos.

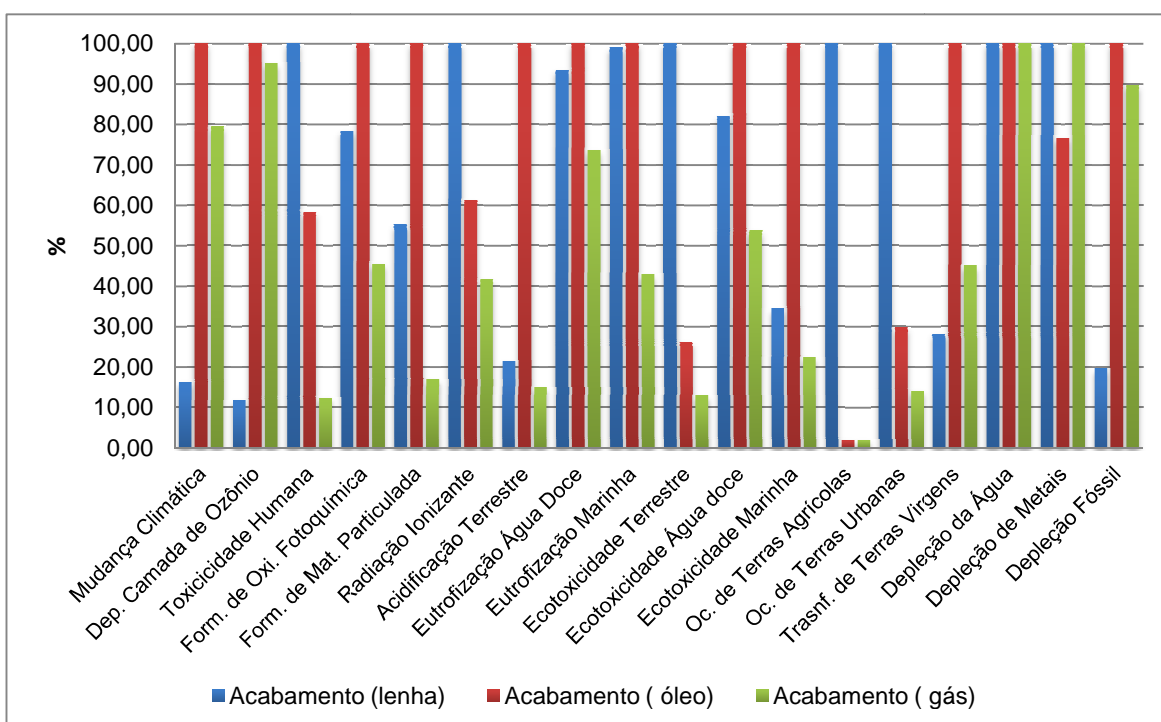
### 6.3. MUDANÇA DE CENÁRIO PARA A ENERGIA TÉRMICA

Para uma análise dos impactos ambientais dos diferentes tipos de energias térmicas, foram realizadas alterações de cenários. As alterações foram realizadas nos setores de acabamento (lavanderia) e beneficiamento / tecelagem. A análise foi conduzida da seguinte maneira:

**Análise 1:** Foram escolhidos três cenários do acabamento (lavanderia), um com a caldeira a lenha (a mesma utilizada pela indústria e considerada neste estudo), um com caldeira a óleo e um com caldeira a gás natural.

A escolha da energia térmica teve como base os grandes impactos ambientais deste tipo de energia em quase todos os setores. Mas, principalmente por afetarem substancialmente a categoria toxicidade humana, que mostrou relevância nos impactos globais, segundo os valores da normalização.

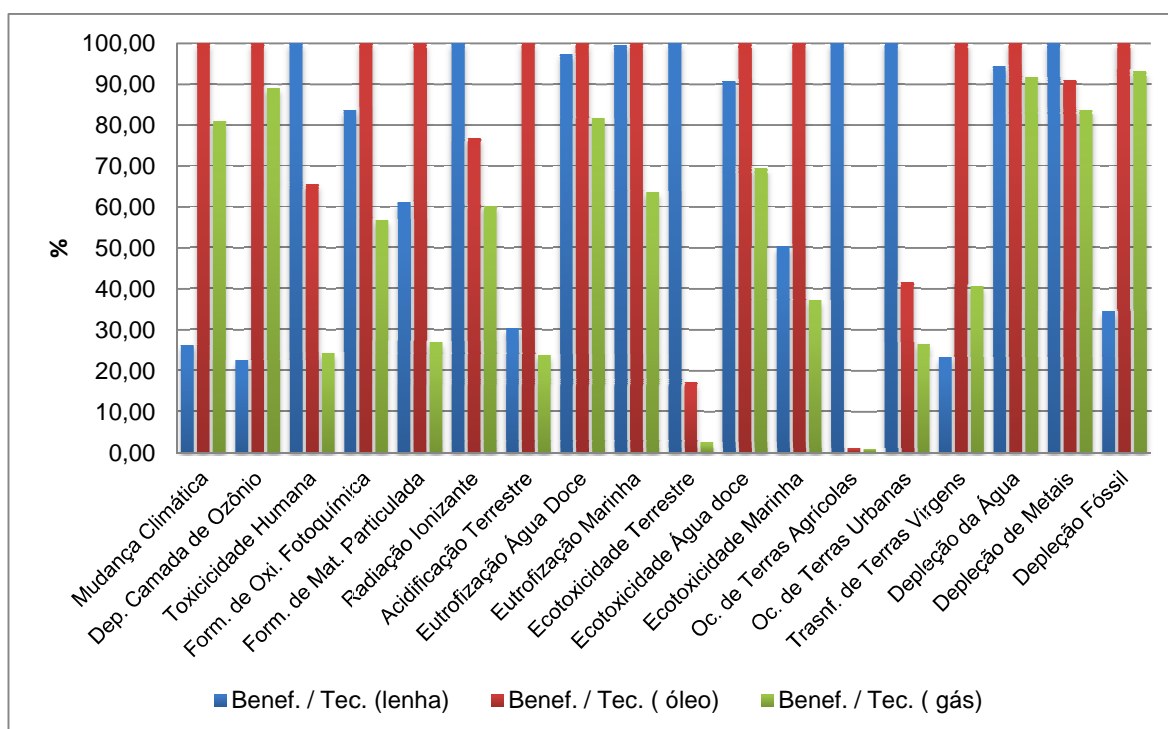
Conforme Figura 57, os resultados demonstram que a caldeira a óleo é a pior escolha, levando-se em consideração as seguintes categorias de impacto: toxicidade humana, radiação ionizante, ecotoxicidade terrestre, ocupação de terras agrícolas, ocupação de terras urbanas e a depleção de metais. Já a caldeira a lenha causa maiores impactos na toxicidade humana, na radiação ionizante, ecotoxicidade terrestre, ocupação de terras agrícolas, ocupação de terras urbanas. A caldeira a gás, em comparação com a caldeira a óleo é melhor em todas as categorias. Por outro lado, comparando a caldeira a gás com a caldeira a lenha, pode-se observar que os impactos da caldeira a gás nas categorias de impacto mudança climática, depleção do ozônio, transformação de terras naturais e depleção fóssil são maiores.



**Figura 57- Resultados da caracterização *midpoint*, em %, e referentes à mudança de cenário no setor de acabamento (lavanderia)**

**Análise 2:** Os outros setores que utilizam a energia térmica são os setores de beneficiamento / tecelagem. Nesta análise, foram escolhidos os mesmos cenários, com a utilização da caldeira a lenha, a gás e a óleo.

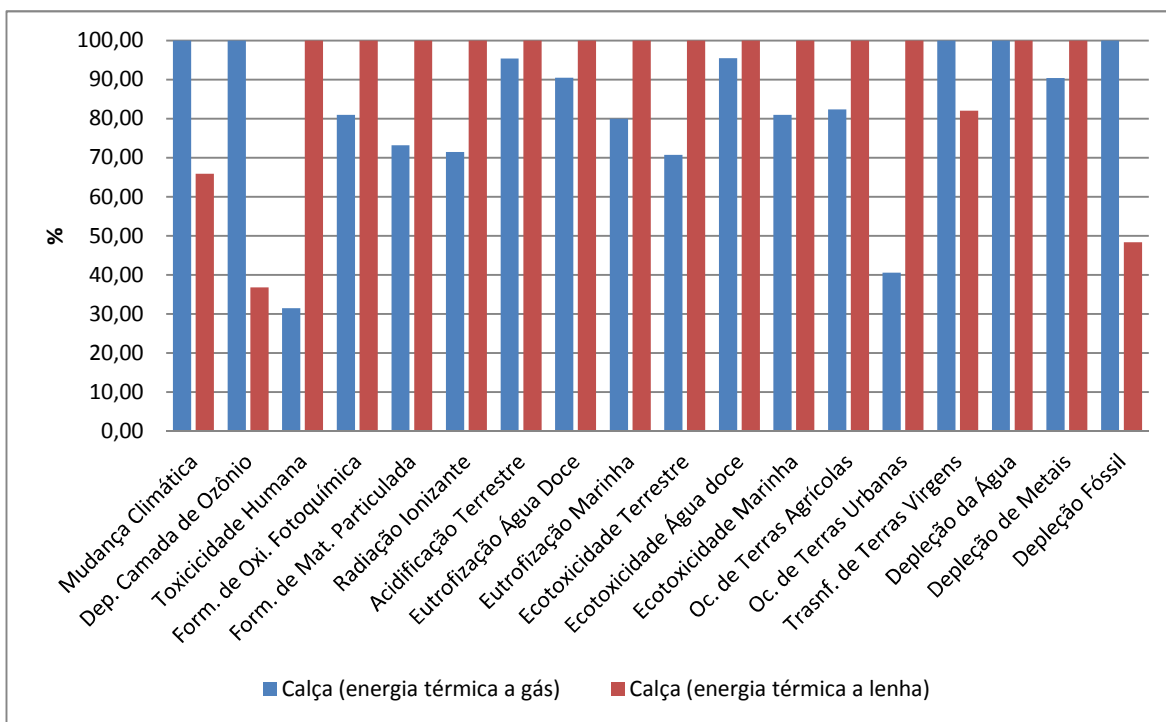
Ao comparar os resultados em relação ao acabamento (Análise 1), houve grande similaridade, algumas categorias foram mais afetadas, outras menos, mas as alterações não foram significativas (ver Figuras 58 e 59).



**Figura 58- Resultados da caracterização *midpoint*, em %, e referentes à mudança de cenário no setor de beneficiamento / tecelagem**

O que pode ser observado, em ambos os setores, é que ao comparar os resultados da normalização (Figura 56) com estes resultados, a caldeira a gás diminui os impactos ambientais nas categorias mais relevantes para os valores normalizados, que são a ecotoxicidade terrestre, marinha e de água doce, a eutrofização de água doce e toxicidade humana, mas elevam os impactos referentes à mudança climática e depleção da camada de ozônio.

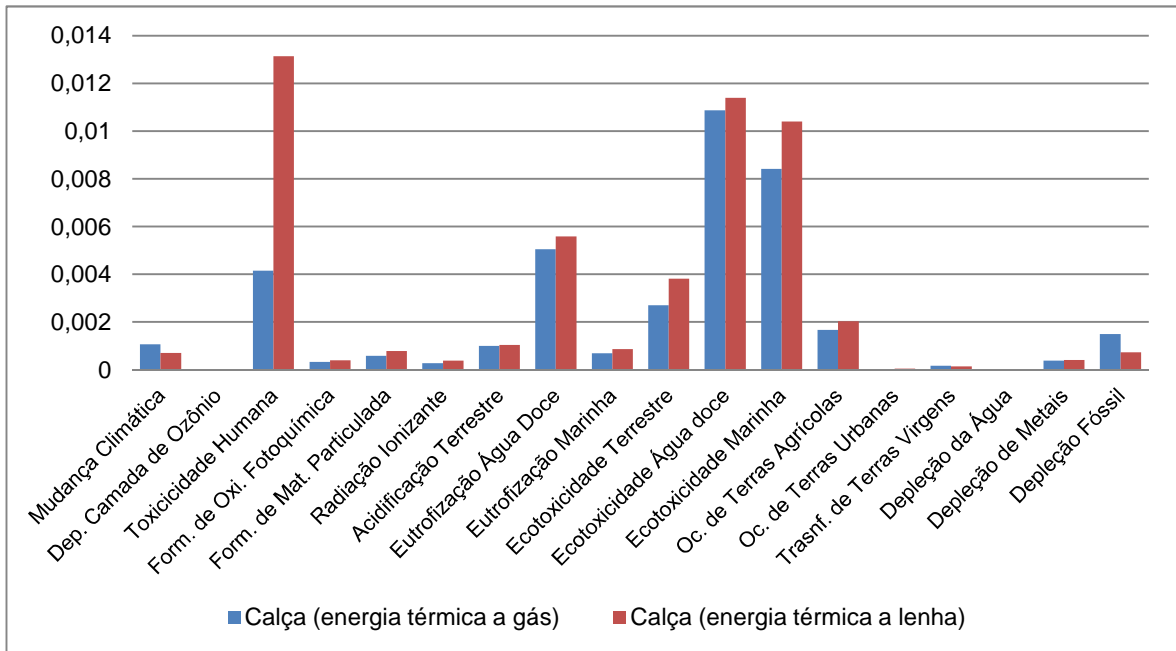
**Análise 3:** Após a análise nos setores que utilizam a energia térmica na produção de seus produtos, optou-se por analisar a substituição da energia térmica gerada pela queima da lenha (utilizada neste estudo) pela energia térmica gerada pela queima do gás natural. Os resultados podem ser observados na Figura 59.



**Figura 59- Resultados da caracterização *midpoint* da calça jeans, em %, e referentes à mudança de cenário**

A toxicidade humana teve uma diminuição considerável, de aproximadamente 70%. Mas em contrapartida houve um aumento de cerca de 65% na depleção da camada de ozônio, 50% na depleção fóssil e 35% na mudança climática.

A Figura 60 mostra estes impactos em relação aos valores normalizados.



**Figura 60- Resultados da normalização *midpoint* da calça jeans, em %, e referentes à mudança de cenário**

Os impactos nas categorias mais significantes, de acordo com valores globais normalizados, diminuem com a substituição da energia térmica a lenha pela energia a gás. Mas esta alternativa deve ser vista com cautela, pois como já mencionado, os valores foram normalizados com base em dados globais e que não traduzem os impactos na América do Sul.



# CAPÍTULO 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

## 7.1. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a avaliação dos impactos ambientais na produção de uma calça jeans, do berço ao portão de fábrica, utilizando o método de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). A avaliação foi realizada desde a extração da fibra até o acabamento da calça jeans. Não foram consideradas as etapas de uso e descarte, e segundo alguns autores (STEIMBERG *et al*, 2009; RUSSELL *apud* BLACKBURN, 2009; YAMAGUCHI *et al*, 2011) os maiores impactos estão relacionados ao consumo de energia elétrica, mas cabe ressaltar que os estudos conduzidos por estes autores se referem à lavagem e secagem utilizando água aquecida e ar quente. No Brasil, devido ao clima tropical, na maior parte do ano, a lavagem do material têxtil é feita sem o uso de água quente e a secagem é realizada ao ar livre. Como o objetivo deste estudo é avaliar e identificar o setor ou a etapa de maior influência nos impactos ambientais, e como os resultados demonstraram que a energia elétrica não causa grandes impactos ambientais relacionados ao produto, a exclusão desta etapa não significou empecilho para alcançar os objetivos propostos. Mas entende-se que há a necessidade de estudos mais profundos com base na forma de uso dos produtos têxteis no Brasil.

Em relação aos resultados obtidos, ressalta-se a necessidade de considerar o escopo do estudo, que não considerou alguns *inputs* por falta de acesso aos dados, como o caso do botão e zíper utilizado na calça jeans. Entretanto são, em termos mássicos, irrisórios na composição da calça jeans e, portanto acredita-se não comprometerem os resultados da pesquisa.

Há ainda a considerar que os objetivos propostos foram alcançados, pois foi possível identificar os setores de maior impacto na produção de um produto têxtil. Os setores de maior impacto ambiental foram a produção da matéria-prima (algodão), o beneficiamento / tecelagem e o acabamento.

Na produção da matéria-prima (algodão), os resultados demonstraram que as emissões pelo uso de fertilizantes e agrotóxicos, além da produção de fertilizante nitrogenado e o uso de combustível fóssil nas atividades agrícolas são os maiores causadores dos impactos. E as categorias de impacto afetadas são a mudança climática, depleção do ozônio, ecotoxicidade terrestre e de água doce, formação de oxidante fotoquímico e formação de material particulado, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, uso de terras agrícolas, depleção de recursos minerais e fósseis. Os impactos referentes às emissões e a produção dos fertilizantes nitrogenados podem ser amenizados buscando otimizar o uso deste produto, por meio de análise do solo, ou substituir o fertilizante mineral por um natural (BUTNAR *et al*, 2010).

Nos setores de beneficiamento / tecelagem e acabamento, a energia térmica utilizada para aquecer grandes volumes de água e em secadores para a secagem dos materiais têxteis, é responsável por grandes impactos na toxicidade humana e uso de terras urbanas. Além disso, a toxicidade humana é a categoria de impacto mais afetada, segundo valores normalizados.

Por meio da análise dos diferentes cenários, pode-se concluir que a substituição da energia térmica com geração a lenha pela geração a gás, não corresponde a uma solução, pois diminui alguns impactos, mas aumentam outros. Como sugestão pode-se otimizar a utilização da energia, e alguns estudos vem sendo conduzidos com esta finalidade (RAVAGNANI e CABALLERO, 2007; SILVA *et al*, 2010), ou ainda buscar outras alternativas de geração de energia, algumas indústrias utilizam resíduos têxteis para a queima na caldeira. Mas, são necessários estudos mais aprofundados, com relação às emissões liberadas durante a queima destes materiais.

Neste trabalho, concluiu-se que a energia elétrica produzida no Brasil, que é composta em grande parte por energias renováveis, causa menos impactos se comparada com a energia elétrica produzida em outros países. Outro setor que causa grandes impactos em estudos sobre a ACV, mas que em nossos estudos não foram significativos, foi o transporte, mas cabe ressaltar que não foi considerada a importação de materiais. Principalmente no que diz respeito ao

algodão, cuja importação é realizada nas entre safras brasileiras, neste caso os impactos neste setor seriam maiores.

Neste estudo pode-se concluir, ainda, que a produção de produtos químicos é responsável pelos impactos na ecotoxicidade, eutrofização, e grande causadora de impactos na depleção de recursos fósseis. E que, segundo valores normalizados, as categorias de impacto mais significativas foram a ecotoxicidade aquática e terrestre, a toxicidade humana e a eutrofização da água doce.

Por fim, verifica-se que para diminuir os impactos ambientais no setor têxtil é necessário investir em pesquisas que busquem combustíveis renováveis na geração de energia, ou a otimização no uso desta energia. Além disso, a falta de um inventário brasileiro não compromete os resultados deste trabalho, pois os resultados deste estudo são compatíveis com outros estudos similares. Entretanto, para obter maior precisão nos resultados são necessários maiores investimentos na elaboração de um inventário brasileiro para o setor têxtil.

## 7.2. ESTUDOS FUTUROS

Com base no desenvolvimento e nas dificuldades observadas neste estudo, são apresentadas a seguir algumas sugestões de continuidade de trabalhos.

- A produção de fertilizantes causa grandes impactos no cultivo de fibras naturais, principalmente no algodão. Sugere-se a avaliação dos impactos deste *input*, utilizando dados de inventário brasileiro. Assim, os estudos sobre a ACV da fibra de algodão ou de outros tipos de fibras naturais poderiam aproximar-se da realidade brasileira.
- Avaliar os impactos ambientais da produção de botões, zíperes e outros acessórios na confecção da calça jeans, que não foram analisados neste estudo devido à falta de dados destes setores. Apesar de representarem, em termos mássicos, uma parcela irrisória da composição da calça jeans, estes acessórios utilizam metais em sua composição, o que poderia representar impactos significativos no setor de confecção.
- Continuar a avaliação do ciclo de vida dos produtos têxteis, fazendo um levantamento sobre os hábitos de uso destes. A etapa de uso do material têxtil é alvo de várias pesquisas, entretanto todas retratam as condições de uso de países europeus ou asiáticos, que não condizem com os hábitos de países tropicais, como o Brasil.
- Como a área de energia térmica exerce grande influência nos impactos da área têxtil, sugere-se proceder à coleta de dados, análise de inventário e avaliação de impacto do setor de energia térmica utilizada pelas indústrias têxteis.
- O setor químico têxtil é outra área que carece de banco de dados brasileiro e que é responsável por impactos em algumas categorias de impacto analisadas.

## REFERÊNCIAS

\_\_\_\_. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL. **Dados do setor.**

Disponível em:

[http://www.abit.org.br/site/navegacao.asp?id\\_menu=6&id\\_sub=19&idioma=PT](http://www.abit.org.br/site/navegacao.asp?id_menu=6&id_sub=19&idioma=PT).

Acesso em 21 Novembro 2012.

\_\_\_\_. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultura do algodão no cerrado.** Disponível em

<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoCerrado/index.htm>. Acesso em: 15 Dezembro 2012.

\_\_\_\_. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

**Levantamento sistemático da produção agrícola.** Disponível em:

[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa\\_201203\\_5.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201203_5.shtm) . Acesso em: 20 Abril 2012.

\_\_\_\_. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa industrial – produto.** Disponível em:

[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pia/produtos/produto2010/defaulttabzip\\_xls.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pia/produtos/produto2010/defaulttabzip_xls.shtm). Acesso em 21 Novembro 2012.

\_\_\_\_. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Agriculture, forestry and other land use. **IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories.** Vol 4. 2006.

\_\_\_\_. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.

**Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework:** ISO 14040. Genebra: 2006.

\_\_\_\_\_. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines**. ISO 14044. Genebra: 2006.

\_\_\_\_\_. Levi Strauss & Co. Life Cycle Approach to Examine the Environmental Performance of its Products. Disponível em: <http://www.levistrauss.com/sustainability/product/life-cycle-jean>. Acesso em 18 outubro 2012.

\_\_\_\_\_. PRÉ CONSULTANTS, GOEDKOOP, M., SCHRYVER, A.D., OELE, M. SimaPro 7 Tutorial. Netherlands: PRé Consultants, 2007. 17 p.

\_\_\_\_\_. United Nations Statistics Division. **Demographic yearbook**. Disponível em: <http://unstats.un.org/unsd/demographic/products/dyb/dyb2011.htm>. Acesso em 01 Março 2013.

\_\_\_\_\_. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign Agricultural Service. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/wap/current/>. Acesso em: 18 Abril 2012.

ARAÚJO, M. **Tecnologia do Vestuário**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1986. 455p.

ARAÚJO, M., CASTRO, E. M. M. **Manual de Engenharia Têxtil**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984. Vol 1, 694p.

AZAPAGIC, A. Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimisation. **Chemical Engineering Journal**, n. 73, p. 1-21, 1999.

AZAPAGIC, A. **Life Cycle Assessment as a Tool for Sustainable Management of Ecosystem Services**. In: HESTER, R.E., HARRISON, R.M. (Eds). **Ecosystem Services**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2010. p.140 – 168.

BLACKBURN, R.S. **Sustainable textiles: Life cycle and environmental impact**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2009. 381 p.

BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEJO, J.G.L., MIERZWA, J.C., BARROS, M.T.L., SPENCER, M., PORTO, M., NUCCI, N., JULIANO, N., EIGER, S.

**Introdução à Engenharia Ambiental – O desafio do desenvolvimento sustentável.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 2ª Ed., 318p.

BUTNAR, I., RODRIGO, J., GASOL, C. M., CASTELLS F. Life-cycle assessment of electricity from biomass: Case studies of two biocrops in Spain. **Biomass and Bioenergy**, n. 34, p. 1780-1788, 2010.

CHEHEBE, J.R.B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos: Ferramenta Gerencial da ISO 14000.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998. 104p.

FERRÃO, P.C. **Introdução à Gestão Ambiental: a avaliação do ciclo de vida de produtos.** IST Press, 1998. 219 p.

GIANNETTI, B. F., ALMEIDA, C.M.V.B. **Ecologia industrial: conceitos, ferramentas e aplicações.** São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2006. 109 p.

GOEDKOOOP, M., HEIJUNGS, R., HUIJBREGTS, M., SCHRYVER, A., STRUIJS, J., VAN ZELM, R. **ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report 1: Characterisation.** 2009 Disponível em: <http://www.pre-sustainability.com/reports>. Acesso em 18 outubro 2012

GOEDKOOOP, M., SPRIENSMA, R. **The Eco-indicator 99: A damage oriented method for life cycle impact assessment. Methodology report and annex.** Pré Consultants, Amersfoort. 1999 Disponível em: <http://www.pre.nl/eco-indicator99/>. Acesso em 18 outubro 2012

GUINÉE, J., *et al.* **Handbook on Life Cycle Assessment - Operational guide to the ISO Standards.** New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Kluwer Academic Publishers, 2004. 687p.

HEYWOOD, D. **Textile Finishing.** Bradford: Society of Dyers and Colourists, 2003. 526 p.

HOLMES, G., SINGH, B.R., THEODORE, L. **Handbook of Environmental Management & Technology**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1993. 651 p.

LEWIS, K.A., NEWBOLD, M.J., TZILIVAKIS. Developing an emissions inventory from farm data. **Journal of Environment Management**, v. 55. n. 3, p. 183-197, 1999.

LIMA, A. M. F. **Avaliação do ciclo de vida no Brasil – Inserção e perspectivas**.2007. 116 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo,) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2007.

LIMA, F., FERREIRA, P. **Índigo: tecnologias, processos, tingimento, acabamento**. [ s.l.: s.n., s.d.]. 118p.

MALUF, E., KOLBE, W. **Dados técnicos para a indústria têxtil**. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003. 2ª Ed, 336p.

MOUSAZADEH, H., KEYHANI, A., JAVADI, A., MOBILI, H., ABRINIA, K., SHARIFI, A. Life-cycle assessment of a Solar Assist Plug-in Hybrid electric Tractor (SAPHT)in comparison with a conventional tractor. **Energy Conversion and Management**, n. 52, p. 1700-1710, 2011.

MUTHU, S.S., LI, Y., HU, J.Y., MOK, P.Y. Quantification of environmental impact and ecological sustainability for textile fibres. **Ecological Indicators**, n. 13, p. 66-74, 2012.

NEMECEK, Thomas; KAGI,Thomas. **Life cycle inventories of agricultural production systems**. Zurich and Dubendorf: Ecoinvent Centre, 2007. 360 p.(Ecoinvent Report nº 15)

RAVAGNANI, M.A.S.S., CABALLERO, J.A. Optimal heat exchanger network synthesis with the detailed heat transfer equipment design. **Computers & Chemical Engineering**, v. 31 n. 11, p. 1432-1448, 2007



RIBEIRO, L.G. **Introdução à indústria têxtil**. Rio de Janeiro: CETIQT/SENAI, 1984.

RODRIGUES, C.R.B., ZOLDAN, M.A., LEITE, M.L.G., OLIVEIRA, I.L. Sistemas computacionais de apoio à ferramenta análise de ciclo de vida do produto (ACV). In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2008. p. 1-15.

SALEM, V. **Tingimento Têxtil: Fibras Conceitos e Tecnologias**. São Paulo: Blucher: Golden Tecnologia, 2010. 297 p.

SANZ REQUENA, J. F., GUIMARAES, A. C., QUIRÓS ALPERA, S., RELEA GANGAS, E., HERNANDEZ-NAVARRO S., NAVAS GRACIA, L. M., MARTIN-GIL, J., FRESNEDA CUESTA, H. Life Cycle Assessment (LCA) of the biofuel production process from sunflower oil, rapeseed oil and soybean oil. **Fuel Processing Technology**, n. 92, p. 190-199, 2011.

SHEN, L., PATEL, M.K. Life Cycle Assessment of Polysaccharide Materials: A Review. **J Polym Environ**, n. 16, p. 154-167, 2008.

SHEN, L., WORRELL, E., PATEL, M.K. Environmental impact assessment of man-made cellulose fibres. **Resources, Conservation and Recycling**, n. 55, p. 260-274, 2010.

SHORE, J. **Cellulosics Dyeing**. Bradford: Society of Dyers and Colourists, 1995. 408p.

SILVA, A., RAVAGNANI, M., BISCAIA, E., CABALLERO, J. Optimal heat exchanger network synthesis using particle swarm optimization. **Optimization and Engineering**, v. 11 n. 3, p. 459-470, 2010

SLEESWIJK, A.W., VAN OERS, L.F.C.M., GUINÉE, J.B., STRUIJS, J., HUIJBREGTS, M.A.J. Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000. **Science of the total environment**, n. 390, p. 227-240, 2008.

SOUSA, S. R. **Normalização de critérios ambientais aplicados à avaliação do ciclo de vida**. 2008. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2008.

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**, n. 14, p. 443-455, 2009.

VAN DER WERF, H.M.G., Life Cycle Analysis of field production of fibre hemp, the effect of production practices on environmental impacts. **Euphytica**, n. 140, p. 13-23, 2004.

VAN DER WERF, H.M.G., TURUNEN, L. The environmental impacts of the production of hemp and flax textile yarn. **Ind Crops and Products**, n. 27, p. 1-10, 2008.

VAN ZELM, R., HUIJBREGTS, M.A.J., VAN JAARSVELD, H.A., REINDS, G.J., STRUIJS, J., DE ZWART, D., VAN DE MEENT, D. Time horizon dependent characterization factors for acidification in life cycle assessment based on forest plant species occurrence in Europe. **Environmental Science and Technology**, n. 41, p. 922-927, 2007.

WALSER, T., DEMOU, E., LANG, D.J., HELLWEG, S. Prospective Environmental Life Cycle Assessment of Nanosilver T-Shirts. **Environmental Science & Technology**, n. 45, p. 4570-4578, 2011.

YAMAGUCHI, Y., SEII, E., ITAGAKI, M., NAGAYAMA, M. Evaluation of domestic washing in Japan using life cycle assessment. **International Journal of Consumer Studies**, n. 35, p. 243-253, 2011.

## **ANEXOS**

**Tabela 23 – Exemplo da planilha para coleta de dados**

PLANILHA DE DADOS PARA ACV POR UNIDADE DE PROCESSO					
<b>PRODUTO</b>	Identificação	Produção (kg/dia)	(kg/	Composição	
<b>Entradas</b>					
<b>Matérias primas</b>	Tipo	Definição detalhada	Processos a que é submetido		
A					
B					
<b>Produtos Químicos</b>	Composição	Quantidade	Tipo		
A					
B					
<b>Outros produtos</b>	Composição	Quantidade	Tipo		
<b>ÁGUA</b>	Tipo de consumo de água	Quant. Consumida	Procedência da água	Tratamento do afluente-	Produtos tratado
				Tipo	o do
					afluente
					do
			Poço artesiano		
			Rede pública		
			Rio		
<b>Saídas</b>					
<b>Efluente volume</b>	Tratamento do efluente	Destino efluente	do		
<b>Resíduo dos processos</b>	Tipo	Processo	Reaproveitamento	Quantidade	% do resíduo no total
Resíduo A					
Resíduo B					
<b>Máquina</b>	Tipo de Combustível	Alimentação	Produção de energia	Energia Consumida	
A					
B					
<b>Máquina</b>	Produção de vapor	Consumo de vapor	de	Tipo de vapor	
A					
B					
<b>Transporte</b>					
<b>Tipo</b>	Carga	Peso	Local de partida	Local de chegada	Duração da viagem
<b>Caminhão</b>					
<b>Trem</b>					
<b>Avião</b>					

**Tabela 24 – Resultados da Caracterização Midpoint da matéria-prima**

Categoria de Impacto	Unidade	Uso de máquinas agrícolas	Produção de defensivos agrícolas	Produção de Fertilizantes / corretivos	Transporte	Energia elétrica	Emissões durante o cultivo
Mudança Climática	kg CO <sub>2</sub> eq	3,19E-01	7,59E-02	1,06E+00	2,76E-01	3,38E-02	1,14E+00
Depleção do Ozônio	kg CFC-11 eq	4,30E-08	2,96E-08	4,73E-09	0,00E+00	5,46E-09	0,00E+00
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	6,98E-02	3,93E-02	5,44E-03	3,95E-04	4,30E-03	8,44E-04
Formação de Oxidante Fotoquímico	kg NMVOC	3,50E-03	3,74E-04	2,89E-03	5,44E-04	3,30E-04	7,17E-04
Formação de Material Particulado	kg PM10 eq	1,11E-03	1,56E-04	1,15E-03	1,28E-04	8,61E-05	3,20E-03
Radiação Ionizante	kg U235 eq	4,13E-02	1,80E-02	3,52E-03	0,00E+00	3,08E-03	0,00E+00
Acidificação Terrestre	kg SO <sub>2</sub> eq	2,08E-03	4,44E-04	4,84E-03	3,81E-04	1,94E-04	2,37E-02
Eutrofização Doce	Água kg P eq	5,26E-05	5,34E-05	4,18E-06	0,00E+00	3,25E-06	2,02E-04
Eutrofização Marinha	kg N eq	1,13E-03	2,02E-04	1,08E-03	1,86E-04	1,10E-04	1,21E-03
Ecotoxicidade Terrestre	kg 1,4-DB eq	3,34E-05	5,94E-05	4,10E-06	1,72E-07	5,18E-06	1,65E-02
Ecotoxicidade doce	Água kg 1,4-DB eq	1,47E-03	2,85E-03	9,24E-05	5,35E-08	9,24E-05	3,50E-02
Ecotoxicidade Marinha	kg 1,4-DB eq	1,58E-03	6,80E-04	9,97E-05	1,49E-08	1,07E-04	1,43E-03
Ocupação de Terras Agrícolas	m <sup>2</sup> a	2,62E-02	1,29E-02	1,67E-04	0,00E+00	1,39E-04	8,90E+00
Ocupação de Terras Urbanas	m <sup>2</sup> a	6,70E-03	5,39E-04	2,48E-04	0,00E+00	3,70E-04	0,00E+00
Trasnformação de Terras Virgens	m <sup>2</sup>	1,03E-04	1,52E-05	8,50E-06	0,00E+00	1,23E-05	0,00E+00
Depleção da Água	m <sup>3</sup>	1,02E-03	9,95E-03	1,26E-04	0,00E+00	1,36E-04	1,52E-03
Depleção de Metais	kg Fe eq	5,48E-02	7,69E-03	1,29E-03	0,00E+00	1,78E-03	0,00E+00
Depleção Fóssil	kg oil eq	1,10E-01	3,77E-02	1,61E-01	9,74E-02	1,28E-02	0,00E+00

**Tabela 25 – Resultados da Caracterização Midpoint da Fiação**

Categoria de Impacto	Unidade	Electricidade, alta voltagem, produção BR
Mudança Climática	kg CO <sub>2</sub> eq	4,80E-01
Depleção do Ozônio	kg CFC-11 eq	1,94E-08
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	2,54E-02
Formação de Oxidante Fotoquímico	kg NMVOC	5,61E-04
Formação de Material Particulado	kg PM10 eq	1,69E-04
Radiação Ionizante	kg U235 eq	7,35E-02
Acidificação Terrestre	kg SO <sub>2</sub> eq	4,24E-04
Eutrofização Água Doce	kg P eq	2,67E-05
Eutrofização Marinha	kg N eq	1,19E-04
Ecotoxicidade Terrestre	kg 1,4-DB eq	6,22E-05
Ecotoxicidade Água doce	kg 1,4-DB eq	5,52E-04
Ecotoxicidade Marinha	kg 1,4-DB eq	5,25E-04
Ocupação de Terras Agrícolas	m <sup>2</sup> a	1,09E-02
Ocupação de Terras Urbanas	m <sup>2</sup> a	5,94E-04
Trasnformação de Terras Virgens	m <sup>2</sup>	4,53E-04
Depleção da Água	m <sup>3</sup>	1,07E-03
Depleção de Metais	kg Fe eq	5,57E-03
Depleção Fóssil	kg oil eq	5,79E-02

**Tabela 26 – Resultados da Caracterização Midpoint da Beneficiamento / Tecelagem**

Categoria de Impacto	Unidade	Energia Elétrica	Energia Térmica	Água	Transporte	Produtos Químicos	Efluente	Gás Natural
Mudança Climática	kg CO <sub>2</sub> eq	1,26E-03	8,79E-02	2,31E-04	1,57E-01	2,83E-01	5,62E-03	4,72E-03
Depleção do Ozônio	kg CFC-11 eq	5,08E-11	8,37E-09	1,43E-11	2,54E-08	2,20E-08	4,53E-10	1,27E-11
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	6,64E-05	5,23E-01	1,42E-04	2,00E-02	7,68E-02	3,77E-03	3,95E-03
Formação de Oxidante Fotoquímico	kg NMVOC	1,47E-06	2,96E-03	6,38E-07	1,53E-03	8,51E-04	2,48E-05	2,77E-05
Formação de Material Particulado	kg PM10 eq	4,43E-07	1,67E-03	3,80E-07	4,00E-04	3,00E-04	1,60E-05	3,81E-05
Radiação Ionizante	kg U235 eq	1,92E-04	7,77E-02	9,71E-05	1,43E-02	6,23E-02	2,64E-03	1,01E-04
Acidificação Terrestre	kg SO <sub>2</sub> eq	1,11E-06	1,75E-03	7,56E-07	9,00E-04	9,12E-04	4,78E-05	1,88E-04
Eutrofização Doce	Água kg P eq	6,99E-08	5,02E-05	1,24E-07	1,51E-05	9,05E-05	1,31E-05	1,78E-07
Eutrofização Marinha	kg N eq	3,11E-07	1,03E-03	2,14E-07	5,09E-04	2,01E-04	2,53E-04	1,54E-06
Ecotoxicidade Terrestre	kg 1,4-DB eq	1,63E-07	3,40E-03	3,12E-08	2,41E-05	2,44E-05	3,13E-06	3,93E-06
Ecotoxicidade doce	Água kg 1,4-DB eq	1,44E-06	1,36E-03	3,98E-06	4,29E-04	1,61E-03	9,15E-05	2,78E-04
Ecotoxicidade Marinha	kg 1,4-DB eq	1,37E-06	1,85E-03	3,39E-06	4,96E-04	1,54E-03	9,25E-05	8,02E-05
Ocupação de Terras Agrícolas	m <sup>2</sup> a	2,85E-05	9,04E-01	9,78E-06	6,47E-04	2,68E-03	7,14E-05	4,76E-06
Ocupação de Terras Urbanas	m <sup>2</sup> a	1,55E-06	1,05E-02	1,14E-05	1,72E-03	6,77E-04	1,05E-04	2,81E-06
Trasnformação de Terras Virgens	m <sup>2</sup>	1,18E-06	1,14E-04	4,24E-08	5,71E-05	3,72E-05	1,51E-07	8,57E-08
Depleção da Água	m <sup>3</sup>	2,81E-06	8,61E-04	1,51E-02	6,31E-04	3,12E-03	1,18E-04	1,29E-06
Depleção de Metais	kg Fe eq	1,46E-05	1,27E-02	4,75E-05	8,27E-03	9,72E-03	2,08E-03	1,44E-05
Depleção Fóssil	kg oil eq	1,51E-04	2,31E-02	5,56E-05	5,93E-02	1,92E-01	1,16E-03	9,00E-03

**Tabela 27 – Resultados da Caracterização Midpoint da Confeção**

Categoria de Impacto	Unidade	Eletricidade	
		Baixa voltagem	Transporte, carga >16t
Mudança Climática	kg CO <sub>2</sub> eq	4,26E-01	2,13E-02
Depleção do Ozônio	kg CFC-11 eq	1,73E-08	3,43E-09
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	1,29E-01	2,70E-03
Formação de Oxidante Fotoquímico	kg NMVOC	5,36E-04	2,07E-04
Formação de Material Particulado	kg PM10 eq	2,01E-04	5,41E-05
Radiação Ionizante	kg U235 eq	6,52E-02	1,94E-03
Acidificação Terrestre	kg SO <sub>2</sub> eq	5,01E-04	1,22E-04
Eutrofização Água Doce	kg P eq	7,45E-05	2,04E-06
Eutrofização Marinha	kg N eq	1,19E-04	6,88E-05
Ecotoxicidade Terrestre	kg 1,4-DB eq	8,18E-05	3,26E-06
Ecotoxicidade Água doce	kg 1,4-DB eq	1,55E-03	5,81E-05
Ecotoxicidade Marinha	kg 1,4-DB eq	1,71E-03	6,70E-05
Ocupação de Terras Agrícolas	m <sup>2</sup> a	1,11E-02	8,75E-05
Ocupação de Terras Urbanas	m <sup>2</sup> a	7,39E-04	2,33E-04
Trasnformação de Terras Virgens	m <sup>2</sup>	3,98E-04	7,72E-06
Depleção da Água	m <sup>3</sup>	1,02E-03	8,54E-05
Depleção de Metais	kg Fe eq	3,70E-02	1,12E-03
Depleção Fóssil	kg oil eq	5,25E-02	8,02E-03



**Tabela 28 – Resultados da Caracterização Midpoint do Acabamento**

Categoria de Impacto	Unidade	Transporte	Produtos Químicos	Energia elétrica	Detergente	Energia térmica	Emissões do processo
Mudança Climática	kg CO <sub>2</sub> eq	5,49E-02	1,34E-01	1,01E-02	1,09E-02	9,94E-02	3,64E-02
Depleção do Ozônio	kg CFC-11 eq	8,87E-09	1,05E-08	4,08E-10	5,83E-10	9,46E-09	0,00E+00
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	6,97E-03	2,17E-02	5,32E-04	5,30E-03	5,92E-01	0,00E+00
Formação de Oxidante Fotoquímico	kg NMVOC	5,36E-04	4,24E-04	1,18E-05	5,85E-05	3,34E-03	5,95E-06
Formação de Material Particulado	kg PM10 eq	1,40E-04	1,34E-04	3,55E-06	3,12E-05	1,89E-03	0,00E+00
Radiação Ionizante	kg U235 eq	5,01E-03	1,40E-02	1,54E-03	2,05E-03	8,79E-02	0,00E+00
Acidificação Terrestre	kg SO <sub>2</sub> eq	3,15E-04	4,04E-04	8,89E-06	5,17E-05	1,97E-03	0,00E+00
Eutrofização Doce	Água kg P eq	5,28E-06	2,34E-05	5,61E-07	2,93E-06	5,67E-05	0,00E+00
Eutrofização Marinha	kg N eq	1,78E-04	8,78E-05	2,49E-06	3,49E-05	1,16E-03	0,00E+00
Ecotoxicidade Terrestre	kg 1,4-DB eq	8,41E-06	1,01E-05	1,30E-06	5,22E-04	3,85E-03	0,00E+00
Ecotoxicidade doce	Água kg 1,4-DB eq	1,50E-04	4,88E-04	1,16E-05	1,48E-04	1,54E-03	0,00E+00
Ecotoxicidade Marinha	kg 1,4-DB eq	1,73E-04	4,44E-04	1,10E-05	6,18E-05	2,09E-03	0,00E+00
Ocupação de Terras Agrícolas	m <sup>2</sup> a	2,26E-04	9,38E-04	2,28E-04	1,72E-02	1,02E+00	0,00E+00
Ocupação de Terras Urbanas	m <sup>2</sup> a	6,01E-04	2,48E-04	1,24E-05	7,77E-05	1,18E-02	0,00E+00
Trasnformação de Terras Virgens	m <sup>2</sup>	1,99E-05	1,57E-05	9,49E-06	1,43E-04	1,29E-04	0,00E+00
Depleção da Água	m <sup>3</sup>	2,21E-04	5,48E-04	2,25E-05	1,34E-03	9,73E-04	1,13E+02
Depleção de Metais	kg Fe eq	2,89E-03	4,02E-03	1,17E-04	7,24E-04	1,43E-02	0,00E+00
Depleção Fóssil	kg oil eq	2,07E-02	1,02E-01	1,21E-03	1,95E-03	2,61E-02	0,00E+00

**Tabela 29 – Resultados da Caracterização Endpoint da matéria-prima**

Categoria de Impacto	Unidade	Uso de máquinas agrícolas	Produção de defensivos agrícolas	Produção de Fertilizantes / corretivos	Transporte	Energia elétrica	Emissões durante o cultivo
Mudança Climática Saude Humana	DALY	4,47E-07	1,06E-07	1,48E-06	3,87E-07	4,74E-08	1,60E-06
Depleção do Ozônio	DALY	1,13E-10	7,88E-11	1,31E-11	0,00E+00	1,44E-11	0,00E+00
Toxicidade Humana	DALY	4,89E-08	2,75E-08	3,81E-09	2,76E-10	3,01E-09	5,91E-10
Formação de Oxidante Fotoquímico	DALY	1,37E-10	1,46E-11	1,13E-10	2,12E-11	1,29E-11	2,79E-11
Formação de Material Particulado	DALY	2,89E-07	4,06E-08	2,99E-07	3,32E-08	2,24E-08	8,33E-07
Radiação Ionizante	DALY	6,78E-10	2,95E-10	5,77E-11	0,00E+00	5,06E-11	0,00E+00
Mudança Climática Ecossistemas	espécies/ ano	2,53E-09	6,02E-10	8,40E-09	2,19E-09	2,68E-10	9,07E-09
Acidificação Terrestre	espécies/ ano	1,21E-11	2,57E-12	2,81E-11	2,21E-12	1,12E-12	1,38E-10
Eutrofização Água Doce	espécies/ ano	2,31E-12	2,36E-12	1,84E-13	0,00E+00	1,43E-13	8,96E-12
Ecotoxicidade Terrestre	espécies/ ano	4,25E-12	7,55E-12	5,21E-13	2,18E-14	6,59E-13	2,10E-09
Ecotoxicidade Água doce	espécies/ ano	3,83E-13	7,42E-13	2,40E-14	1,40E-17	2,40E-14	9,09E-12
Ecotoxicidade Marinha	espécies/ ano	1,27E-15	5,44E-16	7,98E-17	1,19E-20	8,54E-17	1,14E-15
Ocupação de Terras Agrícolas	espécies/ ano	2,94E-10	2,21E-10	1,89E-12	0,00E+00	1,60E-12	1,64E-07
Ocupação de Terras Urbanas	espécies/ ano	1,29E-10	1,04E-11	4,79E-12	0,00E+00	7,15E-12	0,00E+00
Transformação de Terras Virgens	espécies/ ano	1,51E-10	6,17E-11	1,28E-11	0,00E+00	1,87E-11	0,00E+00
Depleção de Metais	\$	3,92E-03	5,50E-04	9,20E-05	0,00E+00	1,27E-04	0,00E+00
Depleção Fóssil	\$	1,77E+00	6,06E-01	2,59E+00	1,56E+00	2,05E-01	0,00E+00

**Tabela 30 – Resultados da Caracterização Endpoint da Fiação**

Categoria de Impacto	Unidade	Electricidade, alta voltagem, produção BR
Mudança Climática Saude Humana	DALY	6,73E-07
Depleção do Ozônio	DALY	5,05E-11
Toxicidade Humana	DALY	1,78E-08
Formação de Oxidante Fotoquímico	DALY	2,19E-11
Formação de Material Particulado	DALY	4,41E-08
Radiação Ionizante	DALY	1,21E-09
Mudança Climática Ecossistemas	espécies/ ano	3,81E-09
Acidificação Terrestre	espécies/ ano	2,46E-12
Eutrofização Água Doce	espécies/ ano	1,18E-12
Ecotoxicidade Terrestre	espécies/ ano	7,90E-12
Ecotoxicidade Água doce	espécies/ ano	1,44E-13
Ecotoxicidade Marinha	espécies/ ano	4,20E-16
Ocupação de Terras Agrícolas	espécies/ ano	1,91E-10
Ocupação de Terras Urbanas	espécies/ ano	1,15E-11
Transformação de Terras Virgens	espécies/ ano	7,92E-10
Depleção de Metais	\$	3,99E-04
Depleção Fóssil	\$	9,32E-01

**Tabela 31 – Resultados da Caracterização Endpoint da Beneficiamento / Tecelagem**

Categoria de Impacto	Unidade	Energia Elétrica	Energia Térmica	Água	Transporte	Produtos Químicos	Efluente
Mudança Climática Saude Humana	DALY	1,76E-09	1,57E-07	3,24E-10	2,20E-07	3,96E-07	7,87E-09
Depleção do Ozônio	DALY	1,32E-13	3,02E-11	3,92E-14	6,69E-11	1,28E-10	1,29E-12
Toxicidade Humana	DALY	4,65E-11	3,66E-07	9,91E-11	1,40E-08	6,70E-08	2,64E-09
Formação de Oxidante Fotoquímico	DALY	5,72E-14	1,16E-10	2,49E-14	5,98E-11	9,22E-11	9,67E-13
Formação de Material Particulado	DALY	1,15E-10	4,35E-07	9,87E-11	1,04E-07	1,81E-07	4,17E-09
Radiação Ionizante	DALY	3,15E-12	1,28E-09	1,59E-12	2,35E-10	1,25E-09	4,33E-11
Mudança Climática Ecossistemas	espécies/ ano	9,97E-12	8,88E-10	1,84E-12	1,25E-09	3,44E-09	4,45E-11
Acidificação Terrestre	espécies/ ano	6,44E-15	1,02E-11	4,39E-15	5,22E-12	1,04E-11	2,77E-13
Eutrofização Água Doce	espécies/ ano	3,07E-15	2,23E-12	5,43E-15	6,64E-13	4,59E-12	5,75E-13
Ecotoxicidade Terrestre	espécies/ ano	2,07E-14	4,32E-10	3,97E-15	3,06E-12	6,10E-12	3,98E-13
Ecotoxicidade Água doce	espécies/ ano	3,76E-16	3,55E-13	1,04E-15	1,12E-13	5,25E-13	2,38E-14
Ecotoxicidade Marinha	espécies/ ano	1,10E-18	1,49E-15	2,71E-18	3,97E-16	1,61E-15	7,41E-17
Ocupação de Terras Agrícolas	espécies/ ano	5,00E-13	1,01E-08	1,10E-13	7,45E-12	3,71E-11	8,10E-13
Ocupação de Terras Urbanas	espécies/ ano	3,00E-14	2,02E-10	2,20E-13	3,32E-11	4,60E-11	2,02E-12
Transformação de Terras Virgens	espécies/ ano	2,07E-12	2,02E-10	6,64E-14	8,71E-11	1,35E-10	9,91E-14
Depleção de Metais	\$	1,04E-06	9,14E-04	3,40E-06	5,91E-04	1,27E-03	1,49E-04
Depleção Fóssil	\$	2,44E-03	5,32E-01	8,94E-04	9,53E-01	3,96E+00	1,86E-02

**Tabela 32 – Resultados da Caracterização Endpoint da Confeção**

Categoria de Impacto	Unidade	Eletricidade	
		Baixa voltagem	Transporte, carga >16t
Mudança Climática Saude Humana	DALY	5,98E-07	2,98E-08
Depleção do Ozônio	DALY	4,50E-11	9,04E-12
Toxicidade Humana	DALY	9,01E-08	1,89E-09
Formação de Oxidante Fotoquímico	DALY	2,09E-11	8,08E-12
Formação de Material Particulado	DALY	5,22E-08	1,41E-08
Radiação Ionizante	DALY	1,07E-09	3,18E-11
Mudança Climática Ecossistemas	espécies/ ano	3,38E-09	1,69E-10
Acidificação Terrestre	espécies/ ano	2,91E-12	7,06E-13
Eutrofização Água Doce	espécies/ ano	3,27E-12	8,98E-14
Ecotoxicidade Terrestre	espécies/ ano	1,04E-11	4,14E-13
Ecotoxicidade Água doce	espécies/ ano	4,04E-13	1,51E-14
Ecotoxicidade Marinha	espécies/ ano	1,37E-15	5,36E-17
Ocupação de Terras Agrícolas	espécies/ ano	1,85E-10	1,01E-12
Ocupação de Terras Urbanas	espécies/ ano	1,43E-11	4,49E-12
Transformação de Terras Virgens	espécies/ ano	6,95E-10	1,18E-11
Depleção de Metais	\$	2,64E-03	7,99E-05
Depleção Fóssil	\$	8,45E-01	1,29E-01

**Tabela 33 – Resultados da Caracterização Endpoint do Acabamento**

Categoria de Impacto	Unidade	Transporte	Produtos Químicos	Energia elétrica	Detergente	Energia térmica	Emissões do processo
Mudança Climática Saude Humana	DALY	7,69E-08	1,88E-07	1,41E-08	1,52E-08	1,39E-07	5,11E-08
Depleção do Ozônio	DALY	2,34E-11	3,05E-11	1,06E-12	1,52E-12	2,37E-11	0,00E+00
Toxicidade Humana	DALY	4,88E-09	1,52E-08	3,72E-10	3,71E-09	4,14E-07	0,00E+00
Formação de Oxidante Fotoquímico	DALY	2,09E-11	1,65E-11	4,59E-13	2,28E-12	1,30E-10	2,33E-13
Formação de Material Particulado	DALY	3,63E-08	3,48E-08	9,24E-10	8,11E-09	4,90E-07	0,00E+00
Radiação Ionizante	DALY	8,21E-11	2,29E-10	2,53E-11	3,36E-11	1,44E-09	0,00E+00
Mudança Climática Ecossistemas	espécies/ ano	4,36E-10	1,06E-09	7,99E-11	8,62E-11	7,88E-10	2,89E-10
Acidificação Terrestre	espécies/ ano	1,83E-12	2,35E-12	5,16E-14	3,00E-13	1,15E-11	0,00E+00
Eutrofização Água Doce	espécies/ ano	2,32E-13	1,03E-12	2,46E-14	1,29E-13	2,51E-12	0,00E+00
Ecotoxicidade Terrestre	espécies/ ano	1,07E-12	1,29E-12	1,66E-13	6,66E-11	4,88E-10	0,00E+00
Ecotoxicidade Água doce	espécies/ ano	3,90E-14	1,27E-13	3,01E-15	3,84E-14	4,00E-13	0,00E+00
Ecotoxicidade Marinha	espécies/ ano	1,39E-16	3,55E-16	8,81E-18	4,95E-17	1,67E-15	0,00E+00
Ocupação de Terras Agrícolas	espécies/ ano	2,60E-12	1,05E-11	4,00E-12	2,61E-10	1,15E-08	0,00E+00
Ocupação de Terras Urbanas	espécies/ ano	1,16E-11	4,78E-12	2,40E-13	1,50E-12	2,28E-10	0,00E+00
Transformação de Terras Virgens	espécies/ ano	3,04E-11	2,02E-11	1,66E-11	1,43E-08	2,22E-10	0,00E+00
Depleção de Metais	\$	2,07E-04	2,87E-04	8,36E-06	5,18E-05	1,03E-03	0,00E+00
Depleção Fóssil	\$	3,33E-01	1,64E+00	1,95E-02	3,14E-02	4,19E-01	0,00E+00

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

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DO  
SETOR TÊXTIL POR MEIO DA ACV (AVALIAÇÃO  
DO CICLO DE VIDA)  
ESTUDO DE CASO: CALÇA JEANS**

**Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia Química.**

Autora: Amelia Masae Morita

Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos

Orientador: Prof. Dr. Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani

**Maringá**

Fevereiro de 2013