



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

**COMPARATIVO DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DE TRÊS  
CALÇADOS ESPORTIVOS**

**VINICIOS MENEGUZZI MALFATTI**

**PSICOPEDAGOGIA CLINICA E INSTITUCIONAL E CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

**DISSERTAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM  
ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS**

**Porto Alegre**

**Março, 2016**



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

## **COMPARATIVO DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DE TRÊS CALÇADOS ESPORTIVOS**

**VINICIOS MENEGUZZI MALFATTI**

PSICOPEDAGOGIA CLINICA E INSTITUCIONAL E CIÊNCIAS ECONÔMICAS

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCUS SEFERIN

Dissertação de Mestrado realizada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PGETEMA) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre/Doutor em Engenharia e Tecnologia de Materiais.

**Porto Alegre**

**Março, 2016**

“O conhecimento torna a alma  
jovem e diminui a amargura da  
velhice. Colhe, pois, a  
sabedoria. Armazena  
suavidade para o amanhã”

*(Leonardo da Vinci)*

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho as inúmeras pessoas que me apoiaram nesta jornada, de modo especial a meu orientador, que foi um continuo entusiasta do tema. Também dedico a minha família e amigos que privaram seu tempo para que este trabalho fosse executado. De modo muito especial as minhas três grades companheiras, Lilian, Martina e Julia.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Marcus Seferin, pelo apoio e companheirismo, além de sua excelente capacidade intelectual e sabedoria dispensadas nesta jornada, ao Ronaldo Costa que incentivou minha entrada neste curso. Um agradecimento especial ao Igor Barden que me auxiliou neste trabalho.

Agradeço a Villaget, na pessoa do Mario, que possibilitou um campo de pesquisa e assim a execução da primeira parte deste trabalho. Por fim, agradeço a empresa que trabalho por me possibilitar a busca incessante de aperfeiçoamento.

# SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA .....</b>	<b>3</b>
<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>4</b>
<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS.....</b>	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS .....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE SIGLAS .....</b>	<b>11</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>14</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1. Objetivos Específicos .....</b>	<b>19</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1. Calçados .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.1. Mercado Mundial e Brasileiro .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2. Utilização do ACV na mitigação dos impactos na indústria calçadista .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.1. Parâmetros e aspectos para se obter Rótulo Ecológico .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.2. Impactos Ambientais.....</b>	<b>28</b>
<b>3.2.3. Materiais .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.3.1. Cabedal de PU.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.3.2. Cabedal de Lona Reciclada.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2.3.3. Jeans .....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.4. Cadeia Produtiva Comum .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3. Avaliação de Ciclo de Vida.....</b>	<b>34</b>
<b>3.3.1. Benefícios e Limitações da ACV .....</b>	<b>37</b>
<b>3.3.2. Definição dos Objetivos e Escopo do Estudo.....</b>	<b>38</b>
<b>3.3.3. Análise do Inventário.....</b>	<b>39</b>
<b>3.3.4. Avaliação dos impactos do ciclo de vida .....</b>	<b>40</b>
<b>3.3.5. Interpretação dos resultados do ACV .....</b>	<b>40</b>
<b>3.4. Análises Estatísticas .....</b>	<b>41</b>

3.4.1. Análise de incertezas .....	41
3.4.2. Testes Estatísticos .....	42
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1. Objetivo e Escopo da ACV .....</b>	<b>44</b>
4.1.1. Unidade Funcional (UF).....	45
4.1.2. Sistemas de produto .....	45
4.1.3. Fronteiras do Sistema .....	50
4.1.3.1. Materiais: processamento e extração .....	51
4.1.3.2. Fabricação do calçado .....	51
<b>4.2 Limitações do estudo e considerações gerais .....</b>	<b>52</b>
<b>4.3 Construções do Inventário .....</b>	<b>53</b>
4.3.1. Matérias-primas .....	53
4.3.2. Coleta de dados .....	54
<b>4.4. Avaliação de Impactos de Ciclo de Vida .....</b>	<b>56</b>
<b>4.5. Avaliação estatísticas .....</b>	<b>57</b>
<b>4.6. Interpretação da ACV .....</b>	<b>57</b>
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>59</b>
<b>5.1. Inventário .....</b>	<b>59</b>
5.1.1. Cabedal de PU.....	59
5.1.2. Cabedal de jeans.....	60
5.1.3. Cabedal de Lona reciclada.....	60
<b>5.2. Resultados caracterizados da ACV .....</b>	<b>61</b>
5.2.1. Resultado por etapa .....	62
<b>5.3. Análise de contribuição .....</b>	<b>65</b>
5.3.1. Contribuição dos fluxos de produto para as categorias de impacto para sistema de produto.....	65
5.3.2. Contribuição dos processos elementares para as categorias de impacto para cada cabedal .....	71
<b>5.4. Avaliação Estatística.....</b>	<b>76</b>
5.4.1. Análise de incerteza .....	76
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>82</b>
<b>7. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>85</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>86</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Emissões de GEE em estudo de ACV de tênis de corrida.....	25
Figura 2. Reação para a Composição do PU.....	30
Figura 3. Cadeia Produtiva.....	33
Figura 4. Estágios do Ciclo de vida do produto.....	34
Figura 5. Fases de uma Avaliação de Ciclo de Vida.....	35
Figura 6. Procedimentos simplificados para análise de inventário.....	38
Figura 7. Imagem dos calçados estudados.....	44
Figura 8. Componentes dos calçados de PU.....	45
Figura 9. Componentes dos calçados de PU.....	46
Figura 10. Componentes dos calçados de PU.....	47
Figura 11. Componentes dos calçados de PU.....	47
Figura 12. Ciclo de vida dos dois sistemas de produto.....	48
Figura 13. Processo de fabricação dos Calçados Villaget.....	50
Figura 14. Componentes das massas dos calçados.....	46
Figura 15. Matriz da produção de eletricidade.....	51
Figura 16. Comparativo dos impactos ambientais.....	59
Figura 17. Comparativo dos impactos ambientais na Lona de PU.....	60
Figura 18 Comparativo dos impactos ambientais na lona de jeans.....	61
Figura 19. Comparativo dos impactos ambientais na lona reciclada.....	62
Figura 20. Teste de significância dos impactos ambientais.....	77



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Evolução do uso de diversos materiais do Cabedal Assintecal.....	20
Tabela 2. Componentes na produção de calçados, UNIDO.....	30
Tabela 3. Componentes dos calçados de PU .....	54
Tabela 4. Dados da etapa de produção PU .....	56
Tabela 5. Dados da etapa de transporte PU .....	56
Tabela 6. Dados da etapa de produção Jeans.....	57
Tabela 7. Dados da etapa de transporte Jeans.....	57
Tabela 8. Dados da etapa de produção Lona Reciclada.....	58
Tabela 9. Dados da etapa de transporte Lona Reciclada .....	58
Tabela 10. Categoria de impactos ambientais .....	59
Tabela 11. Impactos ambientais na lona de PU .....	60
Tabela 12. Impactos ambientais na lona de Jeans .....	61
Tabela 13. Impactos ambientais na lona de Jeans .....	61
Tabela 14. Contribuição dos fluxos de produto para as categorias de impacto de Lona Reciclada.....	63
Tabela 15. Contribuição dos fluxos de produto para as categorias de impacto de Lona de jeans .....	65
Tabela 16. Contribuição dos fluxos de produto para as categorias de impacto de Lona PU .....	66
Tabela 17. Contribuição dos fluxos de produto para as categorias de impacto de Lona Reciclada.....	69
Tabela 18. Contribuição dos fluxos de produto para as categorias de impacto de Lona Jeans.....	70
Tabela 19. Contribuição dos fluxos de produto para as categorias de impacto de Lona PU .....	71
Tabela 20. Análise de incerteza da lona de jeans .....	74
Tabela 21. Análise de incerteza da lona de PU.....	74
Tabela 22. Análise de incerteza da lona reciclada .....	74
Tabela 23. Verificação da significância estatística.....	78
Tabela 24. Verificação da significância estatística.....	79



## COMPARATIVO DA ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE TRÊS CALÇADOS ESPORTIVOS

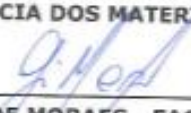
**CANDIDATO: VINÍCIOS MENEGUZZI MALFATTI**

Esta Dissertação de Mestrado foi julgada para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

  
\_\_\_\_\_  
DR. MARCUS SEFERIN - ORIENTADOR

### BANCA EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
DR. VALDIR SÓLDI - DO PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA E ENGENHARIA E  
CIÊNCIA DOS MATERIAIS - UFSC

  
\_\_\_\_\_  
DR. GUSTAVO INÁCIO DE MORAES - FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO  
CONTABILIDADE E ECONOMIA - PUCRS

  
\_\_\_\_\_  
DR. ROGÉRIO VESCIA LOUREGA - DO PGETEMA - PUCRS

## LISTA DE SÍMBOLOS

$C_a$	Número de átomos na superfície do substrato	$m^3$
$D_L$	Coeficiente de difusão do líquido	$m^2/s$
$T_f$	Temperatura de fusão	$^{\circ}C$

## LISTA DE SIGLAS

A.C.	-	Antes de Cristo
ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	-	Avaliação de Ciclo de Vida
AICV	-	Análise de Impactos de Ciclo de Vida
ANOVA	-	Análise de Variância
BNDES	-	Banco Nacional de Desenvolvimento Social e Econômico
CH	-	Produção Chinesa
COP	-	Conferência do Clima Paris
DE	-	Produção Alemã
EC	-	European Commission
EU	-	União Europeia
GEE	-	Gases de efeito estufa
GLO	-	Produção Global
ICV	-	Inventário de Ciclo de Vida
ISO	-	International Organization for Standardization
PAG	-	Potencial de Aquecimento Global
PEAP	-	Potencial de Ecotoxicidade de Água Potável
PEG	-	Potencial de Eutrofização Genérico
PETT	-	Potencial de Ecotoxicidade Terrestre
PTAM	-	Potencial de Ecotoxicidade Aquática Marinha
PTH	-	Potencial de Toxicidade Humana
PU	-	Poliuretanos
RER	-	Produção da Europa
SMC	-	Simulação de Monte Carlo
SOVs	-	Substâncias Orgânicas Voláteis
TNT	-	Tecidos não tecidos
UF	-	Unidade Funcional
Villaget	-	Vila Getulio Vargas (empresa )

## RESUMO

MALFATTI MENEGUZZI, Vinícios. **Comparativo da Análise de Ciclo de Vida de dois calçados esportivos**. Porto Alegre. 2015. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL.

A indústria calçadista é uma das mais antigas do mundo e ainda na idade antiga, ou mesmo na pré-história, o ser humano já utilizava formas rudimentares de calçados e eventualmente fazia da confecção desses itens uma forma de negócio. Atualmente é um produto essencial na vida do homem contemporâneo. No ano de 2010 o mundo produziu e comercializou mais de 25 bilhões de pares de calçados, grande parte em países com economia emergente. Frente a esta grande demanda, é crescente a preocupação com os possíveis impactos ambientais. Neste contexto, a metodologias de avaliação de desempenho ambiental podem ser utilizadas pelos desenvolvedores de produtos nas suas escolhas de materiais e processos mais ambientalmente amigáveis, além de motivar o consumidor na compra do produto e servindo como ferramenta de marketing. Portanto, esse trabalho apresenta uma avaliação e comparação do desempenho ambiental da produção de três sistemas de cabedal produzidos a partir de lona de poliuretano, jeans, e lona de jeans reciclado. Todos os sistemas foram avaliados para uso em calçados esportivos a partir da metodologia de avaliação do ciclo de vida (NBR ISO14040 e NBR ISO14044) do berço ao portão, abrangendo a aquisição/produção de matérias primas para os tecidos; produção e beneficiamento dos tecidos; transporte até a empresa; produção do cabedal (corte e costura) e transporte dos resíduos. O método CML 2001 foi utilizado para a avaliação, sendo considerados os impactos: Mudanças climáticas 100a; Potencial de eutrofização; Potencial de acidificação; Ecotoxicidade, humana, terrestre, água potável e marinha. A unidade funcional escolhida foi de 3000 pares de cabedal/ano, referente à produção média anual de cada cabedal pela empresa Villaget, de Novo Hamburgo/RS, onde os dados de produção foram coletados. Simulação de Monte Carlo foi utilizada para acessar a incerteza dos impactos para cada sistema de produto e subsequentemente o teste TukeyHSD com 95% de significância e hipótese nula de igualdade dos impactos ambientais. A queima e a

extração de lenha para a produção de Jeans são os processos mais impactantes na produção do cabedal de jeans. A produção de difenilmetilenoisocianato, utilizado na produção de poliuretano, é o principal processo impactante na produção de cabedal de poliuretano. O cabedal a partir da lona reciclada de jeans apresenta como processos mais impactantes os envolvidos na produção de eletricidade. Potencial de eutrofização, ecotoxicidade marinha e de água potável são estatisticamente iguais para os três sistemas de produto. O cabedal de poliuretano teve os piores resultados nos outros impactos, exceto na toxicidade humana em que o Jeans se mostra o pior.

Palavras-Chave: Calçados. Cabedal. Avaliação de Ciclo de Vida.

## ABSTRACT

MALFATTI MENEGUZZI, Vinicios. **Comparative Life Cycle Analysis of two sports shoes**. Porto Alegre. 2015. Master/PhD Thesis. Graduation Program in Materials Engineering and Technology, PONTIFICAL CATHOLIC UNIVERSITY OF RIO GRANDE DO SUL.

The footwear industry is one of the oldest in the world and even in ancient time humans have used rudimentary forms of shoes what eventually made the production of these items a form of business. Currently it plays a crucial role in the life of modern man. In 2010 the world produced and sold more than 25 billion pairs of shoes, most countries with emerging economy. Faced with this huge demand is growing concern about the possible environmental impacts. In this context, environmental performance assessment methodologies can be used by product developers in their choices of materials and more environmentally friendly processes and motivate the consumer to purchase the product and serving as a marketing tool. Therefore, this work presents an evaluation and comparison of the environmental performance of specific sportive shoes production system where three different scenario were tested, distinguished from materials selection, polyurethane canvas, jeans, and recycled denim canvas. The production systems environmental performances were evaluated by the life cycle assessment methodology (NBR NBR ISO14040 and ISO14044) from cradle to gate, including the acquisition / production of raw materials for fabric production and its processing; transportation to the company; production of leather (sewing) and transportation of waste. The CML 2001 method was used for the evaluation, and considered impacts: Climate change 100a; Potential eutrophication; Potential acidification; Ecotoxicity, human, land, fresh water and marine. The chosen functional unit was 3000 pairs of shoes / year, referring to the average annual production of each shoe by Villaget company, Novo Hamburgo / RS, where production data were collected. Monte Carlo simulation was used to access the uncertainty of impacts for each product system and subsequently the TukeyHSD test with 95% significance and null hypothesis of equality of environmental impacts. The burning and firewood extraction for Jeans production are the most striking processes in the production of canvas shoes jeans. The production difenilmetilenoisocianato

used in the production of polyurethane is the main impacting process in the production of polyurethane leather. The shoes from the canvas recycled jeans presents as more impactful processes involved in the production of electricity. Potential for eutrophication, marine ecotoxicity and drinking water are statistically equal to the three product systems. The polyurethane shoes had the worst results in the other impacts, except in human toxicity in the Jeans shown the worst.

Keywords: Shoes. Leather. Life Cycle Assessment.



## 1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios de nosso tempo é a minimização dos impactos causados ao meio ambiente por conta do número crescente de processos produtivos e serviços associados à atividade econômica. A mitigação dos impactos ambientais causados pela atividade econômica já é trazida à pauta de governos e grandes corporações na busca coletiva de soluções que contemplem o indispensável crescimento econômico, o bem-estar social e a preservação do ambiente e dos recursos naturais. Como exemplo, pode-se citar a conferência organizada pela ONU em dezembro de 2015 em Paris, COP 21, em que líderes mundiais tratam de constituir agendas para viabilizar estratégias de combate às mudanças climáticas. O aumento da demanda por consumo mundial, decorrente do aumento populacional, bem como ao acesso aos bens de consumo, traz uma escassez de recursos naturais e um aumento na poluição ambiental. Há um interesse da sociedade em relação ao tema da preservação pela conscientização ambiental e a pressão por parte de organismos ambientais, da mídia em geral, de grupos ambientalistas e de consumidores questionadores por processos produtivos mais limpos e produtos ecológicos. A academia também está atenta a esta mudança de paradigma no consumo e na produção (BOVEA; PÉREZ-BELIS, 2012; CHEAH et al., 2013). Uma iniciativa da Adidas, neste ano de 2016, chamou atenção do mundo, por ter usado redes de pesca para fazer um calçado esportivo conceito. Uma clara demonstração que as empresas estão empenhadas a responder as demanda ambientais de seus clientes.

São consumidos cerca de 25 bilhões de pares de calçados por ano ou 34 milhões por dia de calçados para prática de esportes (CHEAH et al., 2013). A demanda mundial por calçados tem aumentado consideravelmente nos últimos anos. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de calçados (APICAPS, 2011), ficando atrás apenas da China e da Índia. Segundo dados da Assintecal (2014), são produzidos 691.922 mil pares de calçados diariamente. A região do Vale dos Sinos representa 28,8% da produção nacional de calçados, região onde será feita a Análise de Ciclo de Vida a ser apresentada neste trabalho.

A cadeia produtiva dos calçados é bastante dispersa na sua constituição,

parte das matérias primas, ou quase sua totalidade, são provenientes de várias regiões do país ou do mundo e estes componentes carregam consigo um passivo ambiental altamente dependente de sua origem e processos produtivos.

O objetivo deste trabalho é comparar o desempenho ambiental da produção de três calçados esportivos, que diferem pela composição do cabedal, sendo eles compostos de lona de laminado sintético em poliuretano (PU), lona tecido reciclado e lona de brim (o tecido utilizado na produção de calças *jeans*). Neste estudo, ainda será estudado o sistema produtivo de cada um dos calçados com uma análise das cadeias de suprimentos para os três cenários de sistema de produto, avaliando o desempenho ambiental de cada um dos produtos, para por fim, sugerir melhorias no sistema produtivo dos calçados. O fluxo de referência escolhido foi de 3000 pares de cabedal/ano, referente a produção média anual de cada cabedal pela empresa Villaget, de Novo Hamburgo/RS, de onde os dados de produção foram coletados.

Será utilizada a metodologia da Análise de Ciclo de Vida para atender aos objetivos aos quais o trabalho se propõe. Esse tipo de metodologia ajuda os técnicos a desenvolver novos modelos de calçados com melhor eficiência ambiental, além de estudos reportarem que rotulagens certificando que o produto é ambientalmente amigável tem sido motivadores para que o consumidor escolha o produto que deseja adquirir (HERVA et al., 2011; MATOS, 2014). Percebe-se uma série de iniciativas que se utilizam deste método para melhorar o desempenho ambiental de calçados (MILA et al., 1998; ALBERS et al., 2008; BORCHARDT et al., 2011). O impacto ambiental estudado se concentra no cabedal dos calçados, pois, segundo UNIDOS (2000), os cabedais estudados representam mais 23% de total de cabedais usados no mundo para calçados esportivos, sendo 17% para a lona de PU e 6% para lonas têxteis.

Nesta dissertação serão avaliados sete impactos ambientais, Potencial de Aquecimento Global, Eutrofização, Acidificação, Potencial de toxicidade humana, Potencial de eco toxicidade de água potável, Potencial de eco toxicidade aquática marinha e Potencial de eco toxicidade terrestre. Estes são os impactos com maior representatividade na cadeia produtiva dos calçados a partir da análise de outros

trabalhos similares e do método utilizado.

Ao final do trabalho, será possível identificar melhorias nos materiais e processos para obter um melhor desempenho ambiental dos cabedais utilizados na confecção dos calçados esportivos.

## **2. OBJETIVOS**

Comparar o desempenho ambiental de três calçados esportivos, que possuem diferença na composição do cabedal, sendo eles compostos de lona de PU, lona de tecido reciclado e lona de calça jeans.

### **2.1. Objetivos Específicos**

- a) Estudar o sistema produtivo de cada um dos calçados;
- b) Analisar as cadeias de suprimentos para os três sistemas de produto;
- c) Sugerir melhorias no sistema produtivo dos calçados;

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Calçados

##### 3.1.1. Mercado Mundial e Brasileiro

Cerca de 25 bilhões de pares de calçados são comercializados por ano ou 34 milhões por dia de calçados para prática de esportes ou esportivos (CHEAH et al., 2013).

Segundo a Assintecal (Associação das Indústrias de componentes para couros, calçados e artefatos) o cabedal em tecido foi utilizado em 14,7% da produção total de calçados no Brasil, contra 18,3% de PU no ano de 2014, conforme indicado Tabela 1. A tabela abaixo está em % do total das unidades confeccionadas.

Tabela 1. Evolução do uso de diversos materiais do Cabedal Assintecal (2015)

<b>Tipo de cabedal</b>	<b>2004</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2014</b>
<b>Couro</b>	54,4	48,1	44,0	37,1	32,0
<b>Laminado de PVC</b>	18,5	35,1	23,7	24,1	31,7
<b>Laminado de PU</b>	16,5	8,3	26,6	25,5	18,3
<b>Têxtil</b>	10,6	8,4	5,6	11,8	14,7
<b>Outros</b>	0	0,1	0	1,5	3,3
<b>Total</b>	100%	100%	100%	100%	100%

Na Tabela 1 nota-se um crescimento na utilização de lonas têxteis para fabricação de calçados no ano de 2010, se compararmos com os anos anteriores. Já o cabedal de PU tem um decréscimo de seu uso no ano de 2009. Os calçados estudados tem uma representação de 33% dos totais de cabedal utilizados em 2014.

Com relação à participação da América do Sul no mercado internacional de calçados, a APICCAPS, (Associação Portuguesa dos Industriais de Calçado, Componentes, Artigos de Pele e seus Sucedâneos) (2012) indica que este continente é responsável por 5% da produção mundial de calçados, e grande concentração no continente asiático com 87% da produção mundial.

Segundo o SEBRAE, o Brasil possui mais de 8,2 mil estabelecimentos que fabricam calçados, que geram mais de 340 mil postos de trabalho. Além de gerar emprego e renda, tem impacto relevante na balança comercial, com exportações superiores a US\$ 1 bilhão ao ano. O volume de calçados fabricados em 2013 foi de 899 milhões de pares, segundo o Instituto de Estudo e Marketing Industrial (IEMI).

### **3.1. Economia Circular na produção de calçados**

O momento histórico que vivemos, traz desafios de crescimento econômico com a manutenção do meio ambiente e dos direitos humanos, Lacy (2015) afirma que 4,5 trilhões de dólares que representam 5% da economia mundial, serão necessários para suportar o crescimento da economia até 2030. Sendo assim, o consumo dos recursos naturais será cada vez maior, salvo se houver uma mudança nos padrões de consumo ou nos processos produtivos.

Ao longo da história a humanidade desenvolveu diversas formas de satisfazer suas necessidades por meio da apropriação e conversão dos recursos naturais em bens e serviços (Ribeiro, 2002).

Há inúmeras iniciativas mundiais entorno da economia circular, o vice-presidente da Adidas, Gerd Mans afirma que é uma mudança fundamental para os adeptos do futebol. Nos três próximos anos, o *Sport Infinity* busca por um fim à prática de jogar no lixo seus velhos calçados de futebol (adidas.com). Percebe-se um movimento dos gigantes de calçados na direção do reaproveitamento das matérias primas.

Percebe-se uma série de iniciativas na Europa em relação ao consumo (EMF, 2012; COM, 2014a; RMW/CIWM, 2014; RSA, 2014) que indicam que a forma de estímulo mais imediata para a adoção de sistemas em economia circular seria sua inclusão como critério nas compras públicas. As propostas citam o estabelecimento de metas para percentuais de compras públicas sendo feitas com este tipo de

critério, recomendando-se para a Europa 50% do total para 2030.

Uma vez adotadas tais medidas, haverá grande estímulo à inovação e ao projeto de produtos diferenciados no estabelecimento neste tipo de estratégia.

### **3.2. Utilização do ACV na mitigação dos impactos na indústria calçadista**

A indústria calçadista movimenta um mercado significativo em escala mundial. Em 2010 foram produzidos e comercializados aproximadamente 25 bilhões de pares, sendo 90% produzidos em países de economia emergente. Nesse contexto, a indústria desse ramo tem sofrido grande pressão em relação às quantidades de impactos sociais e ambientais que podem estar relacionados com a produção citada (CHEAH et al., 2013). Ferramentas de avaliação de desempenho ambiental vêm sendo utilizadas para identificar os processos e materiais que causam mais danos ao meio ambiente. Esse tipo de metodologia ajuda aos técnicos a desenvolverem novos modelos de calçados com melhor eficiência ambiental, além de estudos reportarem que o selo de ambientalmente amigável é um recente motivador na compra de produtos (HERVA et al., 2011; MATOS, 2014). Empresas com produção de larga escala, e, por conseguinte, que possuem grande potencial de geração de impactos, estão emitindo relatórios ambientais de seus produtos, graças a pressões sociais e à mudança de paradigma no que concerne à sustentabilidade do uso de recursos naturais (CHEAH et al., 2013). Essas informações têm sido divulgadas de forma que haja um processo colaborativo dos interessados no setor, o que ocorre por causa da dificuldade e complexidade inerente de medir e aprimorar a desempenho ambiental de sistemas produtivos. Essa complexidade surge a partir de uma característica da cadeia de suprimentos, que é o espalhamento geográfico e a baixa concentração de mercado, uma vez que as maiores empresas nessa cadeia não chegam a movimentar 10% de todo capital. Esses fatos indicam que uma alternativa para aumentar o poder de aprimoramento ambiental do setor, seria as pequenas empresas realizarem inventários ambientais e avaliarem os impactos de seu sistema de produção.

A metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) tem a vantagem poder utilizar-se de bancos de dados para a avaliação de impactos ambientais por vários sistemas de produto, podendo ser considerados na modelagem de estágios de ciclo

de vida de produtos a serem avaliados. Os resultados da ACV de um produto, posteriormente, podem ainda servir como parte de outro estudo, sendo uma metodologia que permite um trabalho cooperativo, que é buscado dentro desse tipo de cadeia de suprimentos tão complexa.

A ACV aparece aplicada na indústria calçadista para estudar os impactos ambientais da produção de calçados de couro na Espanha (MILA et al., 1998). Na época, a indústria de calçados tinha grande importância socioeconômica para a Espanha, e era dominada pelos calçados de couro de alta qualidade. ACV para calçados aparece novamente na literatura para estudar a cadeia de suprimentos e a produção de 4 tipos de calçados de materiais diversos, e comparar sua eficiência ambiental (ALBERS et al., 2008). Outra ferramenta já explorada são as derivadas do chamado *ecodesign*, utilizada por Borchardt et al. (2011) para aprimorar a performance ambiental da produção de partes de calçados sem aumentar os custos e interferir na qualidade do produto. Alega-se que as introduções de tecnologias baseada em *ecodesign* pode ajudar a criar vantagens corporativas, melhorar a imagem das empresas e fazer com que as empresas atinjam requisições apresentadas na legislação. Os principais ganhos ambientais reportados pelo trabalho citado acima são: redução de 10% nos custos de produção; redução de materiais não recicláveis substituídos por fibras naturais e polímeros termoplásticos; o uso de produtos tóxicos foi totalmente eliminado e uma redução geral de resíduos sólidos. Para esse último caso o *ecodesign* foi empregado somente para o processo de produção da biqueira de um calçado e todas as mudanças do processo foram realizadas na fase de produção, privando o estudo da visão holística que o ACV poderia prover se o escopo do trabalho fosse maior. O que é observado também, é que o *ecodesign* trabalha com gargalos ambientais mais óbvios, como por exemplo, trocar materiais não renováveis por renováveis, produtos tóxicos por versões não tóxicas. O Efeito dessas trocas não é quantificado diretamente em indicadores de impactos ambientais, tendo uma maior dificuldade em contabilizar o efeito de uma ação frente aos impactos das outras fases de ciclo de vida. As diretrizes indicadas para a realização de um *ecodesign* (FIKSEL et al., 1994;2006) provêm alternativas relevantes e com preocupação econômica, mas não substitui a metodologia de ACV, que vai se utilizar de métricas padronizadas internacionalmente.



Um estudo de emissões de gases de efeito estufa (GEE) para tênis de corrida produzidos por uma grande empresa na China foi realizado com metodologia de avaliação de ciclo de vida (CHEAH et al., 2013). Várias informações sobre as características ambientais da cadeia produtiva da indústria calçadista foram obtidas desse último trabalho, a maioria corrobora com os outros poucos estudos de ACV na área e serão resumidos na próxima subsecção deste capítulo. O que é de grande relevância geral que esse trabalho reporta é que grande parte das emissões de GEE da cadeia produtiva desses calçados é atribuída ao uso de eletricidade e queima de combustíveis, que na China implica em um sério dano ambiental já que a matriz energética chinesa é majoritariamente baseada na queima de carvão (China, 2010). Esta última informação motiva o presente trabalho a avaliar os estágios relevantes de toda cadeia produtiva dentro dos cenários estipulados e apontar as implicações ambientais de utilizar-se a matriz energética brasileira.

Segundo Brander et al. (2011), a quantidade em kg de dióxido de carbono emitido por kWh de uso de eletricidade para o Brasil e para a China, respectivamente, são: 0,09265 e 0,97462, sendo praticamente dez vezes mais poluente utilizar eletricidade na China do que no Brasil. Com o uso da ACV, comparações entre a produção no Brasil e na China serão possíveis, pois serão considerados o transporte das matérias-primas e a matriz energética brasileira atualizada em relação a unidade funcional escolhida dentro do escopo desse estudo. Motivados pelo volume de produção e seu crescimento no setor calçadista, a maioria dos estudos realizados com preocupações ambientais tratam do gerenciamento de resíduos e do estágio de fim de ciclo de vida do produto (RAHIMIFARD et al., 2007; TATÁNO et al., 2012), e outros apresentam sugestões de estratégias para o melhor tratamento desses resíduos (STAIKOS et al., 2006; LEE, 2012).

No princípio, as discussões ambientais dentro do setor eram referentes aos produtos químicos tóxicos, normalmente relacionados com a produção do couro, emissões e resíduos da fase de produção, mas com o aumento da taxa de crescimento do mercado calçadista, foi-se observando uma tendência de diminuição da vida útil desses produtos, resultando em uma larga deposição de resíduos sólidos (STAIKOS et al., 2006). Entretanto, uma cadeia produtiva do tamanho do setor

calçadista tem uma utilização de eletricidade e combustíveis que transformam o assunto do gerenciamento de resíduos sólidos, menor dos problemas ambientais do setor. Inclusive os resíduos gerados na fase de produção, que são menos da metade em relação mássica que os de fim de vida, possui emissões de GEE associadas, pois são fluxos de materiais que carregam os impactos de extração/produção das matérias-primas e possuem alta demanda de energia na fase de produção do calçado, i.e., diminuir o desperdício na fase de produção mitiga muito mais a emissão de GEE do que diminuir os volume de descarte do produto.

Um visão holística de toda cadeia produtiva, provida pela metodologia ACV, de um único estudo foi o suficiente para exemplificar o caso citado acima, Cheah et al. (2013) demonstram em seu trabalho, que cobriu a cadeia produtiva de tênis de corrida envolvendo todos os estágios do ciclo de vida do produto, que a fase de fim de vida contribuía com apenas 3% (Figura 1) das emissões do ciclo inteiro, considerando que 80% foram para aterro sanitário e o restante incinerado. Os autores concluíram que os resíduos da fase de produção, possuem contribuição significativa para as emissões de GEE, isto é a produção de um calçado causa emissões de GEE maiores do que a relacionada com a quantidade de material necessária para a mesma. Também há vários impactos ambientais importantes apontados por Albers et al. (2008) na produção de calçados fabricados com diversos materiais diferentes, que necessitam de atenção devido à natureza dos fluxos envolvidos. E um estudo contemplando um número de impactos maior deve primeiramente conter em sua fronteira de sistema somente as fases mais relevantes ambientalmente, que tendem a ser aquelas com maior relevância energética e mássica. Isso é indicado na metodologia da ACV, pois é uma técnica que busca indicar os processos com maior “carga” de impactos para uma possível alteração. Fases como a de uso e fim de vida para o sistema de produção de calçados tendem a resultar em impactos da mesma grandeza da incerteza do estudo e acabar não servindo responsável pela tomada de decisão, e são exatamente essas fases em que se possuem o maior número de variáveis e peculiaridades que tornariam a ACV muito custosa, sem realmente contribuir com informações utilizáveis (ALBERS et al., 2008).

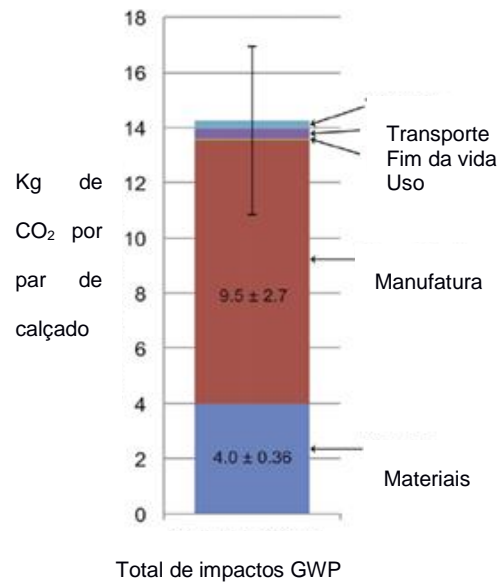


Figura 1. Emissões de GEE em estudo de ACV de tênis de corrida (CHEAH et al., 2013)

### 3.2.1. Regulamentação Típica para Rótulos Ecológicos

Com o objetivo de incentivar a produção calçadista a diminuir os danos ao meio-ambiente a União Europeia (UE) (European Union, 2015) criou a *European Footwear Eco-Label*, como uma ferramenta de marketing e publicidade para calçados ambientalmente amigáveis (STAIKOS et al., 2006). O *ecological label* foi primeiramente implementado pela UE em 1992 para impulsionar o mercado “verde” e criar um esquema de certificação que ajuda o consumidor a distinguir os produtos ambientalmente amigáveis dos outros. Em 2011, já havia em torno de 17.000 produtos com o rótulo concedido pela EU. Entre os tipos de *eco-labels* existem aqueles financiados pelo governo e os provenientes de iniciativa privada, sendo que até 2012 28 países iniciaram programas nacionais para a rotulagem de produtos (Albu 2012). O *eco-label* abrange uma larga variedade de produtos e os interessados em obterem o selo submetem seus pedidos para o *Ministry of the Environment* (Ministério do Meio-ambiente), com documentos provando que o produto se encaixa nos padrões estabelecidos pela *European Commission* (EC). As reivindicações de eficiência ambiental são testadas e avaliadas por laboratórios acreditados. As principais vantagens atribuídas ao processo de rotulagem ecológico são as informações confiáveis sobre os impactos ambientais dos produtos/serviços de todo ciclo de vida que é divulgada para os consumidores. Esse processo ajuda a aprimorar o uso de recursos naturais e desenvolvimento de tecnologias mais limpas, sendo uma abordagem que promove design, comércio e uso de produtos com baixos impactos ambientais durante seu ciclo de vida.

Os produtos que se enquadram na *European Footwear Eco-Label* são: “Todos os artigos de vestuário para proteger e cobrir os pés, com solas externas fixadas que entram em contato com o chão”.

A unidade funcional requerida pela EC é um par de sapatos de tamanho 40 Paris point. E para calçados infantis o número 32 Paris point. Os Calçados estudados no presente trabalho são definidos pela EC como:

Calçados Casuais: calçados com aparência semelhantes aos desenvolvidos para fins esportivos, mas sem conservar as características exclusivas a utilização de atividade esportiva.

Vários critérios ambientais separam em classes os requerimentos da EC para a concessão do *eco-label*, cujo cumprimento requer a realização de testes que serão exigidos e conferidos, como por exemplo:

### **Substâncias perigosas no produto final**

Requerimentos: i) para sapatos feitos com couro, não deve haver Cromo VI no produto final ii) não deve haver arsênico, cádmio e chumbo na montagem do produto e no produto final. iii) a quantidade de formaldeído livre e hidrolisável nos componentes dos calçados, não podem exceder certos limites: têxtil: não detectável; couro: 150ppm.

### **Uso de substâncias orgânicas voláteis (SOVs)**

O uso total de SOVs não pode exceder o valor de 20 g/par.

### **Consumo de Energia**

O consumo de energia da etapa de manufatura deve ser declarado.

Várias outras categorias e requerimentos são encontrados no documento da UE, a maioria é referente a substâncias químicas perigosas no uso do couro.

### **3.2.2. Impactos Ambientais**

Avaliações de desempenho ambiental para calçados são relativamente recentes e escassas na literatura, o que pode ser em boa parte atribuído à dificuldades de rastreabilidade da cadeia produtiva e ao número de processos e empresas envolvidas. Os estudos começaram visando calçados que utilizavam couro em sua composição, que tem um sistema de produção bem diferente para os calçados que utilizam material sintético. Outros trabalhos com foco no desempenho ambiental dentro do setor têm como objetivo o estudo do gerenciamento dos

resíduos, que dentro do ciclo de vida tem usualmente menor relevância ambiental frente às fases de produção da matéria-prima e fabricação do produto, como já discutido. Dois recentes estudos que utilizaram a metodologia ACV para sistema de produto semelhantes com o que serão avaliados no presente trabalho (ALBERS et al., 2008; CHEAH et al., 2013). A modelagem e os resultados desses dois estudos fornecem critérios importantes e são sumarizados a seguir:

i) A fase de uso e de fim de vida tem impacto mínimo em relação aos outros estágios do ciclo de vida. Na ACV de 2008, 90% dos impactos ambientais estão na fase de fabricação do produto e das matérias-primas, no estudo de 2013, 97% das emissões de GEE estão relacionados com a fase de produção e matérias-primas.

ii) Os impactos associados com a fase de produção das matérias-primas têm impacto significativo. Para reduzir os impactos se devem substituir materiais sintéticos, couro e plásticos.

iii) No estudo que contemplou também outros impactos que não só mudança climática, os impactos referentes à toxicidade (toxicidade marinha, humana, água potável) tiveram maior contribuição. No entanto, os impactos que mais contribuíram e que com possibilidades viáveis de mitigação são: mudança climática, potencial fotoquímico de criação de ozônio e potencial de acidificação.

iv) Os dois trabalhos indicam que o uso de energia é a principal fonte dos impactos que podem ser mitigados. Cabe salientar que os dois sistemas de produção estudados se situam na China.

v) O material que constitui o cabedal é responsável por 41% do potencial de aquecimento global para os tênis de corrida. No estudo que compara quatro calçados de materiais diferentes também aponta os materiais do cabedal como os principais responsáveis pelos impactos.

vi) A pegada de carbono (da fase de produção) de um calçados típico para corrida é

de  $14 \pm 2,7$  kg CO<sub>2</sub>-equivalente (CHEAH et al., 2013)

### 3.2.3. Materiais

Os materiais influenciam diretamente na vida útil e propriedades do calçado, assim como no tratamento dos resíduos (STAIKOS et al., 2006). Em características ambientais a extração /produção das matérias-primas podem representar 29% das emissões de GEE (CHEAH et al., 2013).

Tecidos sintéticos e naturais são usados no cabedal e forro, e tem aplicação na produção de sapatos infanto-juvenis e tênis. Além disso, apresentam preços atrativos e propriedades desejáveis para cabedais de calçados esportivo, tais como leveza e flexibilidade. O cloreto de polivinila (PVC) é utilizado em solas e tem custo baixo; o PU era mais encontrado em solas e ante-solas, mas também vem rapidamente ganhando espaço no cabedal; o EVA (copolímero de etileno e acetato de vinila) é um dos materiais mais utilizados no Brasil, é macio; leve e é empregado na fabricação de solas. Outros materiais utilizados são: metais, madeira, materiais celulósicos, entre outros (Frasseto, 2006).

#### 3.2.3.1. Cabedal de PU

O primeiro sistema a ser avaliado por esse estudo tem como característica principal a utilização de material polimérico na constituição do cabedal, mais especificamente o poliuretano. O PU é o sexto polímero mais usado mundialmente (ROKICKI et al., 2015). Essa classe de polímeros possui interessantes propriedades mecânicas tais como: dureza, resistência mecânica, durabilidade, elasticidade e resistência a abrasão. Eles são utilizados na produção de espumas rígidas e elásticas, seladores, adesivos e revestimentos de alta performance. Os PUs são obtidos de reações químicas envolvendo, isocianatos, poliálcools, poliisocianatos e extensores de cadeia (ROKICKI et al., 2015). Além disso, PU vem sendo utilizado na indústria calçadista como material para a produção de solas impermeáveis e entre-solas, devido a sua durabilidade e flexibilidade (FRASSETO, 2006). Pela sua

leveza e resistência, é empregado para produção de cabedal de chuteiras de futebol (MEYTHALER et al., 2013). As camadas do chamado couro artificial, são feitos de PU, como reportado na invenção de Okawa et al. (1996), e são empregadas na manufatura de sapatos, luvas, estofados e roupas. O couro artificial é produzido por adesão de uma camada porosa de PU em uma camada de base fibrosa. Aplicando uma mistura líquida de PU/solvente pontualmente em uma superfície, também de PU, intercalado, formando várias células nessa camada, com ainda mais uma camada PU para o acabamento. Esse tipo de processo provê um material com uma boa permeabilidade ao ar, vapor d'água, exibe superfície macia, resistente a riscos e abrasão, tornando um ótimo substituinte do couro de gado.

Conforme afirma, *United Nations Industrial Development Organization* (UNIDO 2000), 17% do total dos calçados típicos esportivos são confeccionados a partir de PU, conforme apresentado na Tabela 2

Tabela 2. Componentes na produção de calçados, UNIDO (2000)

<b>Material para Calçados</b>	<b>Porcentagem</b>
<b>Couro</b>	25%
<b>Poliuretano (PU)</b>	17%
<b>Borracha termoplástica (TR)</b>	16%
<b>Acetato de vinila etileno (EVA)</b>	14%
<b>Cloreto de polivinila (PVC)</b>	8%
<b>Borracha</b>	7%
<b>Outros (adesivo, metal, etc)</b>	7%
<b>Têxteis e tecidos</b>	6%

A reação de polimerização para a produção do PU pode ser generalizada no esquema da figura 2.



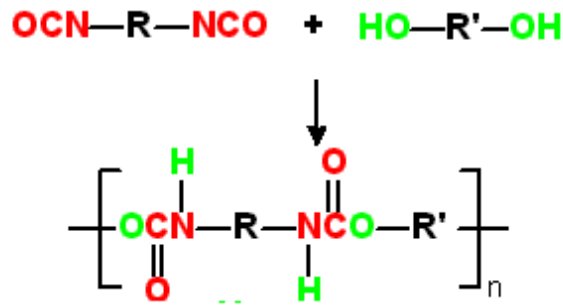


Figura 3. Reação para a Composição do PU

### 3.2.3.2. Cabedal de Lona Reciclada

Práticas sustentáveis no setor têxtil e na indústria da moda vêm sendo debatidas desde a década de 1980. No princípio, as ideias eram desafiadoras: de um lado, havia a preservação; de outro, as novas tecnologias que permitiam ampliar o desempenho industrial – assim como o consumo e descarte de resíduos. Tudo isso em um contexto de agravamento das questões ambientais que impunham ao mundo a necessidade de que fossem criados instrumentos efetivos para a superação dos problemas ambientais (PRADO et al, 2011).

O contexto atual e a legislação vigente apontam premente necessidade da adoção de técnicas e modelos de gestão empresarial e de resíduos que conciliem reuso e reaproveitamento de resíduos no setor industrial têxtil brasileiro, em especial no ramo das confecções. Nessa perspectiva, neste trabalho analisou-se a literatura buscando destacar exemplos que contribuem para a eficiência ambiental do setor têxtil e de confecções.

Percebe-se em nossos dias uma série de iniciativas de empresa/centros de estudos visando à reciclagem, a *H&M*, uma das maiores empresa de *fast retail*, tem em sua estratégia a reciclagem como proposta de negócio. Tendo em vista a melhora de desempenho ambiental em resíduos de tecidos, porque pode implicar na redução do plantio de algodão, o que, por consequência, economiza água e fertilizantes químicos normalmente requeridos no crescimento do algodão (Chang et al., 1999). Todavia a maioria das fibras recicladas é usada mais em tecidos não-tecidos (TNT), formados por fibras desorientadas e compactadas por meio mecânico, com ou sem adição de produto químico, formando uma lâmina contínua

(Pezzolo, 2007), que usada na tecelagem de novos têxteis. Isso se deve ao fato de a produção de não-tecidos requerer menos trabalho, equipamentos, tempo e dinheiro que a produção de novos produtos em outros tipos de tecido. Conforme Chang et al. (1999), a escolha das aplicações possíveis para produtos de fibras recicladas deve seguir os seguintes princípios: 1. As características de desempenho dos produtos não serão sacrificadas; 2. O preço será competitivo; 3. O reprocessamento não é necessário (ex. limpeza, tingimento, acabamento), exceto para trituração em fibras.

#### 3.2.3.3. Jeans

O jeans é basicamente a união do tecido denim com o corante índigo. O denim surgiu na França em 1567, como um tecido a base de algodão tornando-se conhecido por sua robustez. Suas propriedades mecânicas diferem de outros tecidos pela técnica de tecelagem empregada. O índigo azul, composto químico 2,2'-Bis(2,3-diidro-3-oxoindolilideno), é relatado como o corante mais antigo utilizado pela humanidade, datado de 3000 A.C. só chegou na Europa mercantil em 1516. Em 1853, Levi Strauss uniu o tecido com o corante índigo, criando o blue jeans. A calça jeans é normalmente feita 100% de algodão, mas cada vez está surgindo mais incorporação de fibras a base de polímeros derivados de petróleo. O uso do Jeans implica em uma alta carga de impactos, em relação a sua produção, uso e manutenção, sendo uma alternativa, o uso de fibras recicladas no lugar do Jeans original (Duarte, 2013). Uma ACV para o reuso e reciclo de fibras têxteis no Reino Unido reporta um significativo benefício energético nas práticas alternativas ao material virgem (WOOLRIDGE et al., 2006).

Desde os anos 50 duas fibras despontaram no mundo da moda: algodão e poliéster, somadas elas representam mais de 80% do mercado global de têxteis, sendo os principais componentes do jeans. (Duarte, 2013) A produção da fibra de poliéster tem como saídas emissões no ar e na água de metais pesados sais de cobalto e manganês, brometo de sódio, dióxido de titânio, óxido de antimônio e acetaldeído (Fletcher, 2008; Lee, 2009).

#### 3.2.4. Cadeia Produtiva Comum

A Figura 3 extraída da publicação do BNDES (2010) apresenta a cadeia da indústria do Calçados. Esta cadeia será levada em conta no estudo comparativo de avaliação de ciclo de vida dos dois calçados.

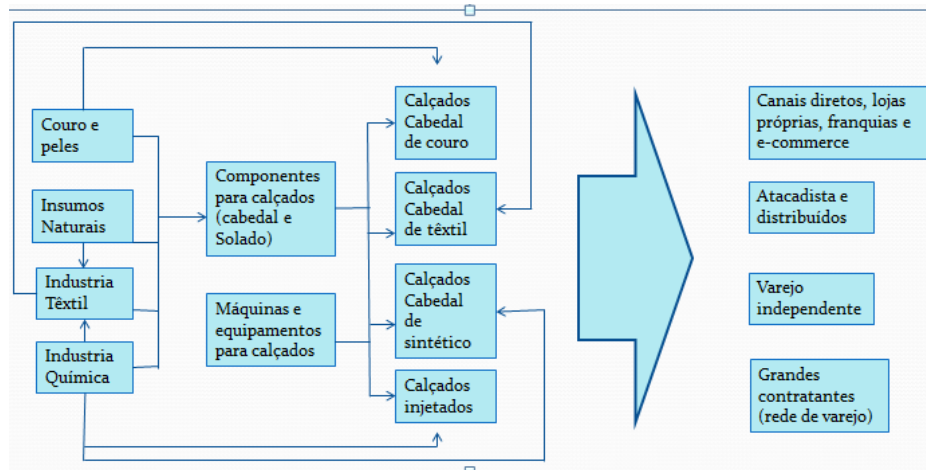


Figura 3. Cadeia Produtiva (BNDES 2010)

### 3.3. Avaliação de Ciclo de Vida

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de um produto é conceituada como uma ferramenta de gerenciamento ambiental para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados ao ciclo de vida de um produto (ABNT, 2001). A ACV tem uma abordagem sistêmica, conhecida como do “berço ao túmulo”, na qual são levantados os dados diretos e indiretamente envolvidos no ciclo de vida do produto, ou seja, em todas as fases relativas à extração das matérias-primas, passando pela produção, distribuição até o consumo e disposição final, contemplando também a reciclagem ou reuso quando for o caso (IBICIT, 2015). A ACV parte do princípio de que todos os estágios da vida de um produto/processo têm potencial para gerar impactos ambientais relevantes, devendo, portanto, serem avaliados, configurando uma abordagem holística da questão (OLIVEIRA et al., 2010).

ACV é um compilado de informações que avaliam os impactos ambientais de um sistema de produção no ciclo de vida de um produto.

O Ciclo de vida se refere ao produto desde sua concepção até sua destinação final, levando em conta a matéria-prima utilizada. Na Figura 4 estão descritos os possíveis estágios da do ciclo de vida a serem consideradas no ACV, as entradas e saídas (USEPA, 2001).



Figura 5. Estágios do Ciclo de vida do produto (USEPA 2001)

O estudo da ACV leva em conta todas as emissões desde o nascimento até a morte do produto – *“from cradle to grave”* que levam em conta os principais impactos ambientais.

A estrutura da ACV é composta por quatro fases: definição dos objetivos e escopo, análise do inventário de ciclo de vida, análise dos impactos e interpretação dos resultados, conforme a figura 5 (ISO 14040: 2001).

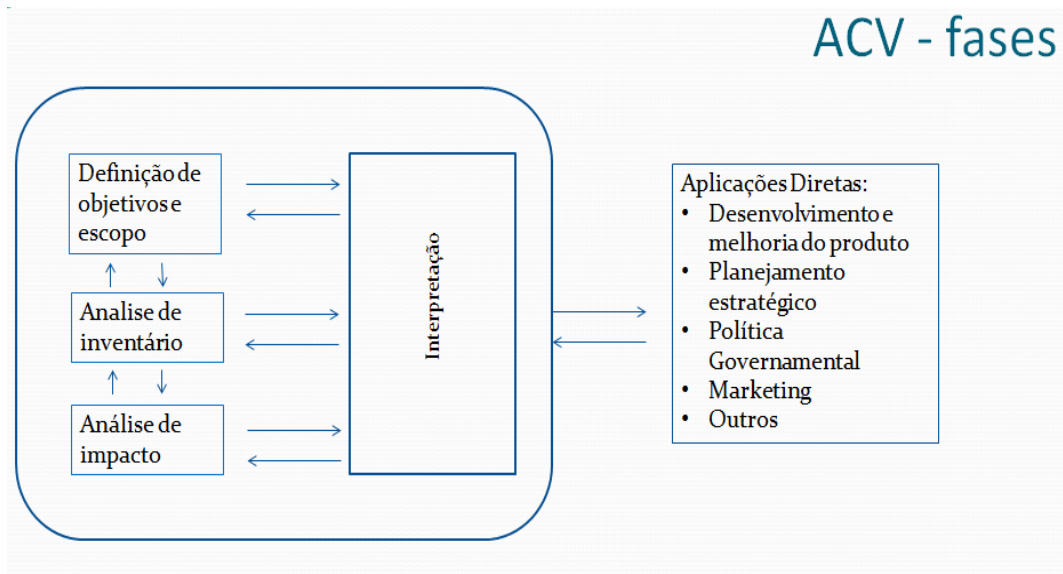


Figura 6. Fases de uma Avaliação de Ciclo de Vida (ISO 14040:2001)

- a) **Definição dos objetivos e escopo:** Definem os produtos, processos da atividade, dando ênfase para as funções desempenhadas pelos produtos. Além disso, cria as fronteiras do sistema, dando a possibilidade de verificar os limites e efeitos ambientais causados pelo sistema de produtos analisados. Define os impactos que serão estudados, seus respectivos indicadores e métodos de caracterização, limitações dos estudos, pressupostos e limitações.
- b) **Análise de inventário de ciclo de vida (ICV):** Identifica e qualifica as entradas e saídas de materiais e energia em cada processo elementar necessário para o desempenho da função do sistema do produto. No tênis esportivo a ser analisado observar-se-á as emissões para o ar, solo e água, matérias-primas, componentes químicos, transporte e embalagem.
- c) **Análise de Impactos de Ciclo de Vida (AICV):** Analisa os efeitos humanos e ecológicos a partir dos materiais citados acima.
- d) **Interpretação dos resultados:** é o momento da análise dos resultados e de todo o sistema, para posteriormente, fazer a eleição dos produtos e processos preferidos, assim pode-se fazer uma escolha adequada às informações para gerar resultado.

A ACV se presta para várias aplicações, desde a definição de produtos, até a avaliação de seus impactos. Serve também para a tomada de decisão de estratégias ambientais e de negócios.

### **3.3.1. Benefícios e Limitações da ACV**

A ACV na sua execução dá uma série de informações que são uteis na tomada de decisão de quem o utiliza, assim a seleção de processos e produtos são mais adequadas as necessidades e ao respeito ao meio ambiente. Esta metodologia ajuda a identificar os impactos ambientais nos meios em que o estudo está sendo utilizado. Assim, pode-se criar critério que auxiliarão na tomada de decisões de produtos mais eficientes.

Segundo a USEPA (2001) os pesquisadores podem:

- a) Desenvolver uma sistemática avaliação das consequências ambientais associadas com um dado produto.
- b) Analisar os balanços (ganhos/perdas) ambientais associados com um ou mais produtos/processos específicos de modo a que os visados (estado, comunidade, etc.) aceitem uma ação planejada.
- c) Quantificar as descargas ambientais para o ar, água, e solo relativamente a cada estágio do ciclo de vida e/ou processos que mais contribuem.
- d) Assistir na identificação de significantes trocas de impactos ambientais entre estágios de ciclo de vida e o meio ambiental.
- e) Avaliar os efeitos humanos e ecológicos do consumo de materiais e descargas ambientais para a comunidade local, região e o mundo.
- f) Comparar os impactos ecológicos e na saúde humana entre dois ou mais produtos/processos rivais ou identificar os impactes de um produto ou processo específico.
- g) Identificar impactos em uma ou mais áreas ambientais específicas de interesse.

A ACV apresenta também algumas limitações, dentre elas vale ressaltar a grande quantidade de horas para coleta de dados, assim terá impactos financeiros na sua execução. Outra limitação está na forma de determinar, não levando em conta o valor financeiro na hora de definir o produto. Assim o ACV deve ser parte de um processo. (USEPA 2001).

### **3.3.2. Definição dos Objetivos e Escopo do Estudo**

A primeira preocupação no estudo de ACV é a Definição do Objetivo e Escopo, segundo Azari-N et al. (2012), é o início para um estudo da Análise do Ciclo de Vida, é a aplicação da unidade funcional, os fluxos de referência, as fronteiras do sistema e as categorias de avaliação de impacto e metodologia. A UNEP (2009) define este estágio do processo como sendo a fase onde se define detalhadamente os motivos para a realização do estudo e o seu uso pretendido, obtendo dados sobre a abordagem para a realização do estudo.

A fronteira do sistema estabelece os limites para o estudo, ou seja, Coltro (2007) define todos os processos elementares que serão estudados, precisando ser estabelecidos em diversas dimensões, como: as fronteiras em relação aos sistemas naturais; as fronteiras geográficas; as fronteiras temporais; as fronteiras dentro do sistema técnico relacionadas com a produção e as fronteiras dentro do sistema técnico relacionadas com o ciclo de vida de outros produtos.

A ISO 14040 define como âmbito do estudo: as funções de sistema de produto ou, no caso de estudos comparativos, os sistemas; a unidade funcional; o sistema de produto a ser estudado; o limite do sistema de produto; os procedimentos que afetam; as categorias de impacto e metodologia de análise e impactos e subseqüentes interpretações a serem utilizadas; requisitos dos dados; pressupostos; limitações; requisitos iniciais de qualidade dos dados; tipo de revisão crítica, se necessário; tipo e formato de relatório requerido para o estudo.

### 3.3.3. Análise do Inventário

Tendo desenvolvido o objetivo e o escopo da ACV na fase subsequente terá a análise do inventário, esta fase é elaborada um fluxograma do sistema em estudo, de modo que os produtos ou os processos que serão avaliados sejam bem definidos, bem como as fronteiras técnicas do mesmo.

Na Figura 6 temos os procedimentos simplificados para análise de inventário, segundo a ABNT (2009)

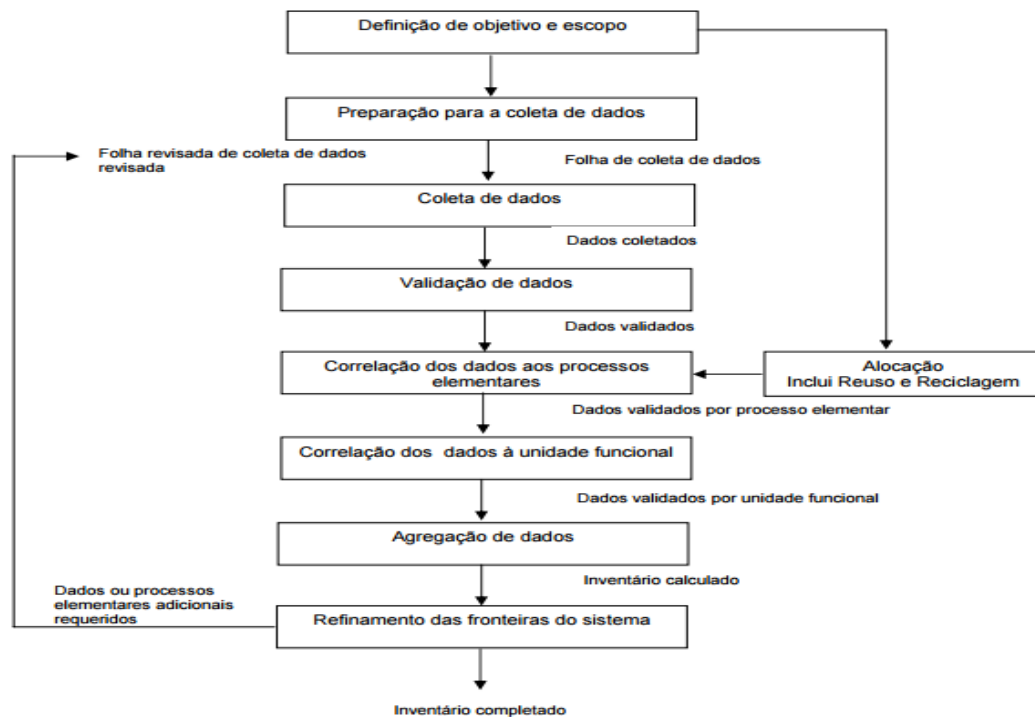


Figura 7. Procedimentos simplificados para análise de inventário. (ABNT 2009)

A partir dos procedimentos sugeridos pela ABNT faremos a três processos na Análise de Inventário, que são: Desenvolver fluxograma, Plano de coleta de dados e Avaliação dos documentos do ICV.

O ICV pode prover informações úteis sobre o aprimoramento de produtos, economia energética e redução nas emissões. Entretanto o ICV não é o suficiente para uma avaliação comparativa entre sistemas de produto, no qual é empregado então a Avaliação de Impactos de Ciclo de Vida. Energia, transporte e produtos



auxiliares são incluídos quando utilizados como entradas. As saídas podem ser coprodutos, emissões para a água, ar ou solo, calor ou resíduo sólido. O resultado da análise de inventário é uma tabela listando todas as entradas e saídas em respeito a unidade funcional considerada (Klopffer, 1997).

### **Avaliação dos impactos do ciclo de vida**

Na terceira fase da ACV, fazemos a Análise dos impactos do Ciclo de Vida (AICV), trata-se de um processo técnico e/ou qualitativo, para caracterizar e avaliar os efeitos das cargas ambientais identificadas no componente do inventário (FEREEIRA, 2004).

Segundo a ISO 14044:2006, a AICV possui elementos obrigatórios: Identificação e Seleção de Impactos, Classificação, Caracterização. Já os opcionais são: Normalização e Ponderação.

A etapa de classificação consiste em atribuir as entradas-saída da tabela resultante do ICV a uma, ou mais de uma categoria de impacto dependendo das substâncias emitidas. A etapa de caracterização utiliza fatores para transformar os dados já classificados para uma unidade comum que represente aquela categoria de impacto. A unidade escolhida continua em função da unidade funcional e é conhecida como o indicador escolhido para representar aquela categoria. Assim, por exemplo, todas as saídas que tiveram substâncias relacionadas com aquecimento global terão suas quantidades convertidas para CO<sub>2</sub>-Eq/UF, que é utilizado como referência dos danos causados por meio do mecanismo ambiental considerado para calcular a retenção de radiação infravermelha e acabar influenciando na temperatura média global. Então, para cada substância que é classificada para a categoria de impacto de aquecimento global haverá um fator de caracterização que contabilizara seus danos em relação ao CO<sub>2</sub>. Através dos valores caracterizados é possível fazer compartimentar a carga ambiental dos processos utilizados para realizar a função considerada (Klopffer, 1997).

#### **3.3.4. Interpretação dos resultados do ACV**

A última fase da ACV é a interpretação dos seus resultados. De acordo com a ISO 14044:2001, a interpretação do ciclo de vida é um procedimento interativo e sistemático que tem como objetivo: identificar, qualificar, verificar, analisar os resultados, chegar a conclusões, esclarecer limitações, sugerir recomendações baseadas nas descobertas das fases precedentes do estudo de ACV ou ICV e relatar os resultados da interpretação do ciclo de vida de um modo transparente em ordem a encontrar os requisitos da aplicação como descrito nos objetivos e âmbito do estudo.

### **3.4. Análises Estatísticas**

Devido as possíveis fontes de variações nos dados utilizados na construção do ICV e dos modelos de caracterização, os resultados de um ACV apresentam também certa variabilidade. Devido à incerteza associada aos resultados pode ser verificado se os resultados apresentados representam o sistema estudado. A falta do conhecimento do perfil estatístico dos resultados da ACV é uma das principais dificuldades para a comparação entre diferentes estudos. Além disso, as ferramentas estatísticas servem para a verificação da qualidade dos dados, identificação de dados anômalos, e comparação entre impactos de diferentes sistemas de produto que realizam a mesma função.

#### **3.4.1. Análise de incertezas**

As fontes de incertezas são dentro de um estudo de ACV são: parâmetros associados aos dados coletados; incertezas do modelo utilizado; incerteza devido às considerações do estudo; variações especiais e temporais; diferença entre tecnologias e equipamentos para a fabricação do mesmo produto. Um estudo de ACV geralmente incorpora vários fluxos e processos, e também suas incertezas que propagadas resultam em uma incerteza, estando associado a um fluxo de saída ou categoria de impacto. As causas das incertezas devido aos dados são: erros de medidas experimentais; dados não representativos; e falta de dados. As incertezas associadas a modelagem do ACV tendem a surgir quando as incertezas dos dados alimentados são relativamente grandes. Variações espaciais e temporais são bem

recorrentes nos estudos de ACV, pois é comum adaptar base de dados de vários locais do mundo ao mesmo tempo, assim como utilizar dados que foram coletados em momentos diferentes. Devido aos vários tipos e fontes de variabilidade e incerteza surgiu várias metodologias de classificação e quantificação, sendo o método estocástico Simulação de Monte Carlo (SMC) considerada a que prove mais informações ao tomador de decisões. A SMC é uma técnica que propaga as incertezas conhecidas dos parâmetros alimentados para resultar na distribuição de probabilidade de uma variável de saída. Conseqüentemente, é uma técnica ideal para quantificar as incertezas dentro de estudos de ACV, entretanto é de pouco utilizada nos mesmos, pois tende a ser um processo computacionalmente custoso.

### **3.4.2. Testes Estatísticos**

A análise de incerteza de um estudo de ACV resulta nos parâmetros de distribuição de probabilidade das variáveis de saída, i.e. os perfis estatísticos dos impactos ambientais. Diferentes sistemas de produto com a mesma unidade funcional tendem a resultar em diferentes valores de categorias de impactos, devido ao uso de diferentes materiais, tecnologias, e quantidades diferentes nos fluxos materiais e energéticos. No entanto, esses valores são médios e apresentam incertezas associadas, o que pode resultar na sobreposição dos intervalos de confiança dessas variáveis.

Testes estatísticos são utilizados para prover inferência sobre a diferença entre dois valores de parâmetros conhecidos. A vantagem principal desses testes é a obtenção de uma medida de qualidade da decisão, podendo-se saber a probabilidade de uma inferência estar errada. A Análise de Variância (ANOVA) é uma metodologia que reúne uma coleção de técnicas estatísticas para identificar e medir as fontes de variação em um determinado conjunto de dados. Dentro dos problemas que podem ser abordados com os procedimentos do ANOVA, está a verificação da diferença entre valores médios, através da decomposição e análise das suas fontes de variações e testes de significância.

A SMC também pode ser utilizada para comparação de sistemas de produto diferentes, contabilizando o número de vezes que os valores de certa categoria de

impacto é maior ou igual para cada sistema de produto avaliado. Porém, não são todos os Softwares que dispõem dessa funcionalidade, ela requer relativamente mais recursos computacionais. Além disso, o ANOVA permite avaliar vários sistemas de produto ao mesmo tempo, para todos os casos de sobreposição, maior, igual ou menor. O ANOVA também realiza testes estatísticos que permitem inferências sobre as hipóteses com poder estatístico e probabilidade de erro conhecido. O ANOVA foi utilizado em conjunto com a metodologia de ACV por Nemecek et al. (2011), para acessar a significância das diferenças entre dois sistemas de produção rural na Suíça, referente as suas categorias de impacto ambiental.

## 4. METODOLOGIA

Na elaboração deste trabalho são utilizados os procedimentos recomendados na ISO 14040 e 14044, a fim de subsidiar a execução da Análise Ciclo de Vida em conformidade com os requisitos exigidos de legitimidade dos dados. Deste modo, foram executados os seguintes processos em nosso método de trabalho:

- 1) Preparação para a coleta de dados;
- 2) Visitas às empresas participantes;
- 3) Levantamento das informações (coleta de dados), através de instrumentos diversos, como questionários, entrevistas, informações de entidades de classes e bases de dados;
- 4) Montagem do Inventário de Ciclo de Vida dos subsistemas inseridos no cenário genérico com o auxílio do software OpenLCA 1.4.4 para a modelagem do sistema;
- 5) Avaliação dos impactos ambientais selecionados;
- 6) Comparativo da eficiência ambiental dos dois modelos de calçados esportivos.

### 4.1. Objetivo e Escopo da ACV

A ACV proposta examina um sistema de produto em estudo de caso com três cenários diferenciados pelo material empregado para a produção do cabedal de calçados esportivos (Tênis 1, Tênis 2 e Tênis 3) para avaliar comparativamente seu desempenho ambiental.

Essa avaliação também procura esclarecer se há uma diferença significativa de usar material têxtil reciclado (Tênis 2) em detrimento de laminados a base de resinas poliméricas (Tênis 1) ou lona de jeans (Tênis 3).

O escopo do estudo contempla os impactos ambientais, especificamente o potencial de aquecimento global associado a todas as fases do ciclo de vida do sistema de produto, desde o berço até o portão de fábrica.

A motivação do estudo reside, também, na possibilidade de indicar gargalos tecnológicos relevantes na cadeia produtiva e quanto ao uso de matérias-primas,

fornecendo aos responsáveis pela tomada de decisões informações para a realização de ações mitigadoras quanto aos impactos ambientais gerados.

#### **4.1.1. Unidade Funcional (UF)**

A função do calçado esportivo é seu uso e a Unidade Funcional adotada no trabalho é 3000 pares de calçados produzidos, unidade escolhida em função do escopo do trabalho, que não contempla as fases de uso e fim de vida do calçado e da produção média anual de calçados da empresa Villaget, que forneceu os dados da fase de montagem do calçado.

Como o objetivo do trabalho é a comparação do desempenho ambiental da produção de calçados que diferem somente pela matéria-prima empregada na produção do cabedal, é conveniente estabelecer-se um fluxo de referência diferente da UF e o fluxo de referência escolhido foi 3000 pares de cabedal

A UF escolhida está relacionada com a que é recomendada pela *European Commission* para a certificação ambiental de produtos calçadistas, e também é a utilizada em outros trabalhos de ACV para calçados (ALBERS et al., 2008; CHEAH et al., 2013).

#### **4.1.2. Produtos em estudo e Sistema de Produto**

Os três produtos diferenciam-se fundamentalmente pelo material utilizado para a fabricação do cabedal. Em geral, o cabedal constitui aproximadamente 25% da massa de um tênis e outros estudos apontam que os materiais referentes ao cabedal têm significativa influência nos impactos ambientais na produção de calçados, chegando a ser responsáveis por até 41% das emissões de GEE para tênis de corrida (CHEAH et al., 2013). O tamanho dos três calçados em estudo é 35, como indicado pela empresa como o padrão utilizado para as modelagens.

A figura 7 apresenta três modelos dos calçados produzidos com os diferentes materiais que caracterizam cada um dos cenários para o sistema de produto em estudo.



Figura 7. Imagem dos calçados estudados, da esquerda para a direita, Lona reciclada, Jeans e lona de PU (2015)

Na figura 8 estão apresentados os componentes dos calçados em estudo e a embalagem utilizada na expedição dos produtos comercializados, que é a mesma para os três produtos, constituída por uma caixa retangular de papel kraft. O papel kraft é um material produzido através do processamento de lignina. A lignina é um dos polímeros naturais de maior ocorrência e estão presente em todas as plantas vasculares, sendo formada por deposição de polissacarídeos, celulose e hemicelulose (2015). O papel Kraft é conhecido pela sua resistência mecânica, coloração marrom amplamente encontrado em embalagens comerciais.



Figura 8. Componentes dos calçados de PU (2015)

Conforme visto na Figura 8, temos os seguintes componentes na composição dos Calçados Esportivos de PU com suas devidas massas.

- 1 – Sola
- 2 – Viras e fchetes
- 3 – Contraforte
- 4 – Palmilhas
- 5, 9, 10, 11, 12, 13 – formação do cabedal
- 6 – Tira contendo a marca
- 7 – Ilhós



8 – Cadarço

14 – Caixa embalagem

No Gráfico 2 é apresentada a composição mássica para cada um dos componentes nos 3 modelos de calçados, obtida por pesagem direta dos componentes dos calçados desmantelados. Percebe-se que as frações mássicas dos tecidos que serão considerados como componentes dos cabedais são iguais.

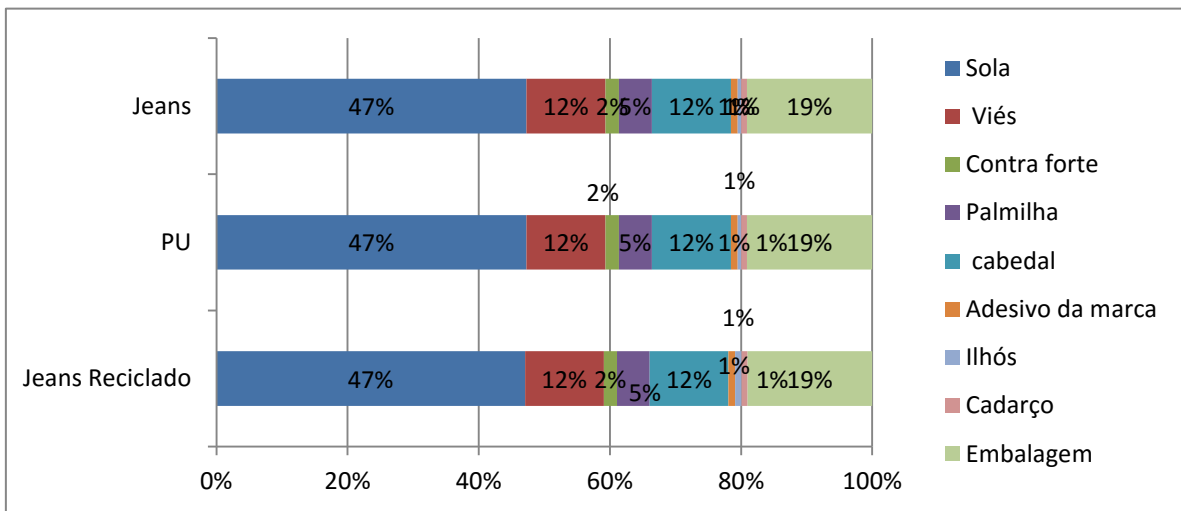


Figura 2. Componentes das massas dos calçados (2015)

No fluxo abaixo serão demonstradas as entradas e saída do sistema que compõe o cabedal de lona reciclada, na figura 9.

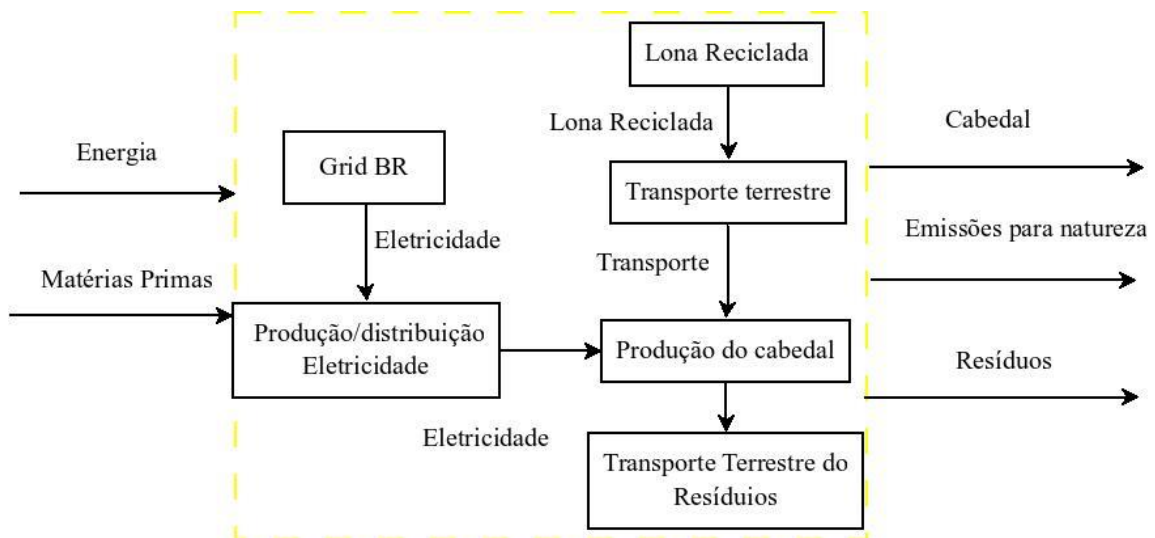


Figura 9. Fluxos elementares para a produção calçados com Lona Reciclada (2015)

No fluxo abaixo serão demonstradas as entradas e saída do sistema que compõe o cabedal de lona PU, na figura 10.

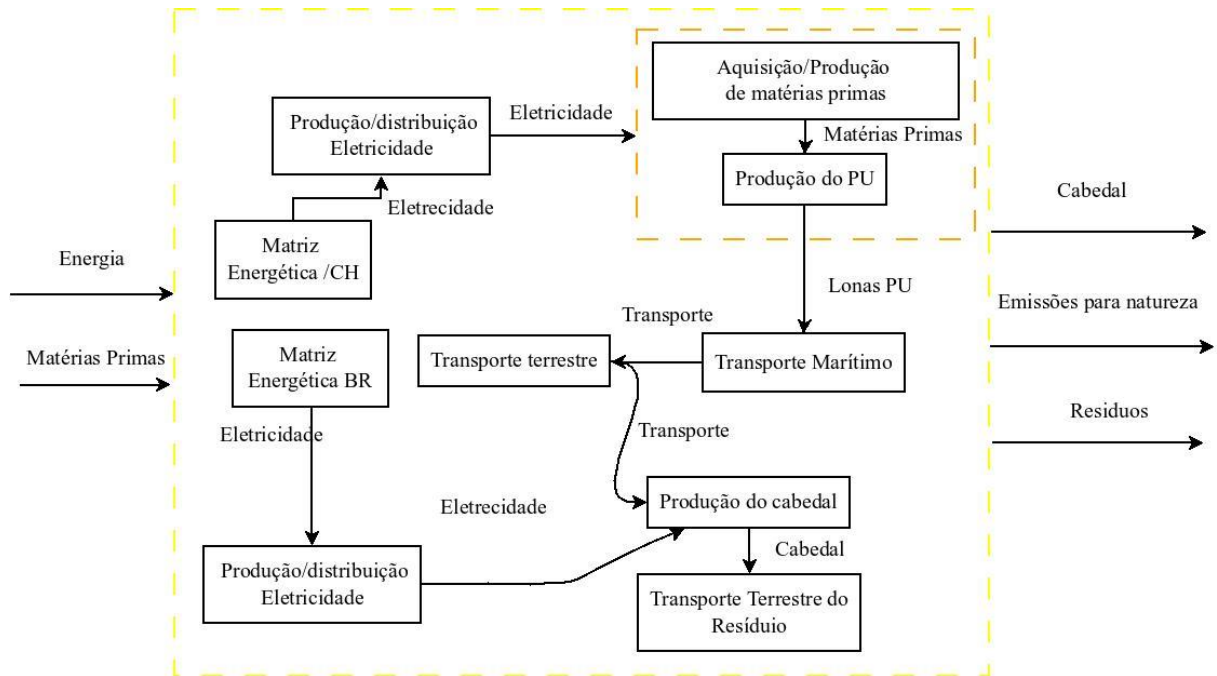


Figura 10. Fluxos elementares para a produção calçados com Lona de PU (2015)

Na figura 11 estão apresentadas as entradas e saída do sistema que compõe o cabedal de lona jeans.

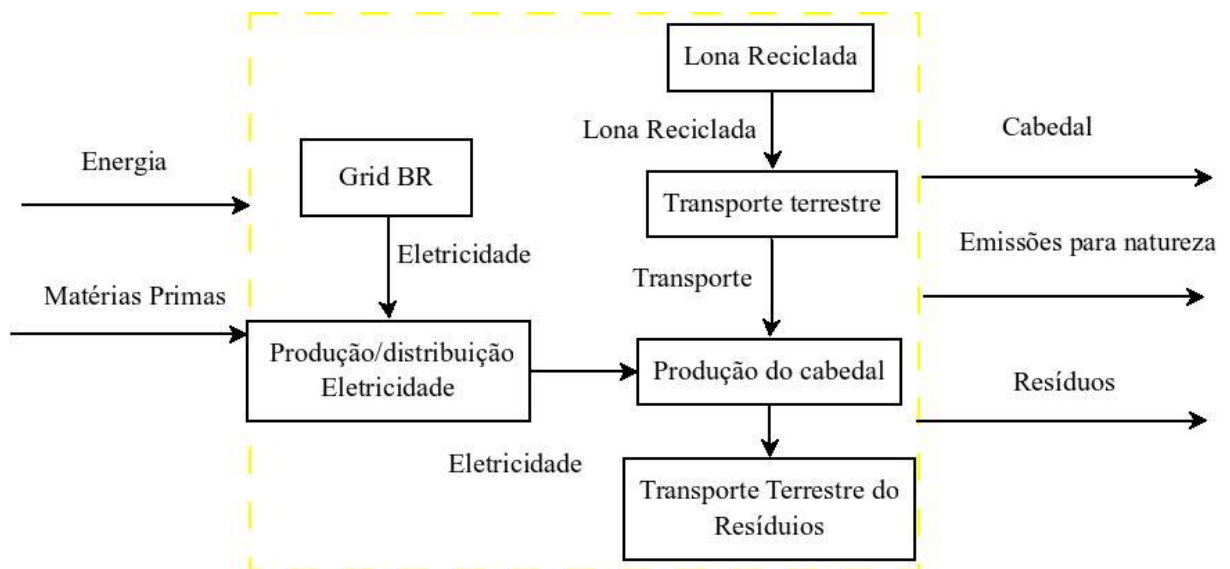


Figura 11. Componentes dos calçados de Lona de PU (2015)

Os três sistemas de produto estão representados nos fluxogramas das figuras 9, 10 e 11 os seus respectivos processos elementares, fluxos de produto e elementares.

#### 4.1.3. Fronteiras do Sistema

Os estágios de ciclo vida avaliados são a produção/extração de matérias-primas e fabricação dos calçados, constituindo um estudo do berço ao portão. Os fluxos elementares e de produtos para o primeiro estágio serão obtidos de bases de dados e informações das empresas sobre a exportação e transporte interno. No estágio de fabricação dos sapatos serão utilizados dados de produção da empresa, analisando as transformações da matéria-prima em cada processo elementar.

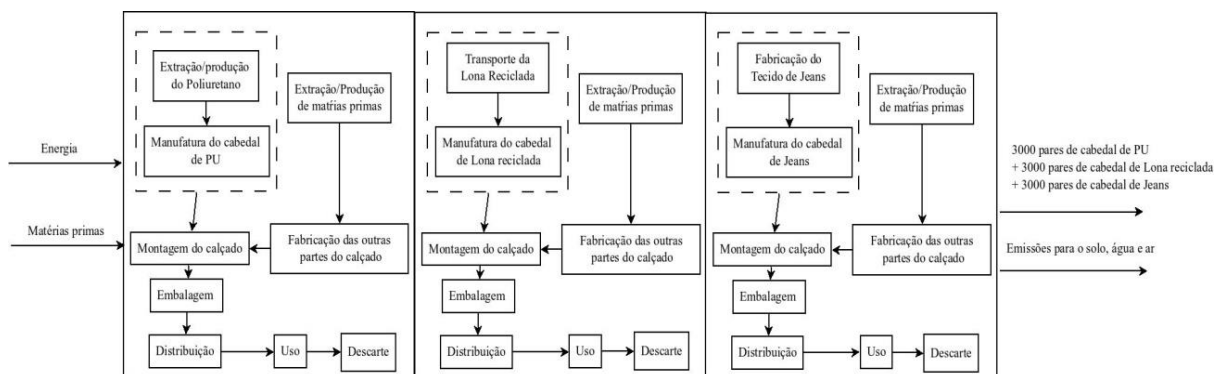


Figura 12. Ciclo de vida do produto, para os três cenários em estudo. Dentro da linha pontilhada este representado os processos relacionados com a produção dos cabedais. (2015)

A Figura 12 apresenta o ciclo de vida dos três cenários considerados para o sistema de produto e processos elementares considerados por esse trabalho. Os fluxos de energia e matérias-primas representam as entradas do compartimento da natureza, dentro do ciclo de vida dos produtos. As matérias-primas primárias são transformadas em processos de extração e modificação. As saídas para a natureza são chamadas emissões para os compartimentos água, solo e ar. Os fluxos elementares são contabilizados neste trabalho somente para os processos dentro da linha pontilhada, que representam as fronteiras do sistema em estudo e contemplam objetivo e escopo do trabalho. Os fluxos contabilizados pelo trabalho estão todos

relacionados com a saída de produto referente ao fluxo de referência, 3000 pares de cabedal para cada tipo de material (Lona de PU, Lona de Jeans e lona reciclada) .

#### 4.1.3.1. Materiais: processamento e extração

O uso dos recursos naturais, produtos e emissões ao ar, solo e água são contabilizados para os processos de extração e produção de matérias-primas para os fluxos de matérias associados com fabricação do cabedal, através de base dados de ciclo de vida confiável. Os processos de transporte das matérias-primas até a empresa também são devidamente contabilizados, utilizando dados de exportação para obter a carga real e associar os impactos com a quantidade necessária para produzir um par de tênis (FRISCHKNECHT et al., 2005).

#### 4.1.3.2. Fabricação do calçado

A Figura 13 representa o fluxo de fabricação dos calçados em estudo. As fases de fabricação estão descritas abaixo:

1) é a concepção do tênis, que inicia na empresa Villaget onde é feita a criação, modelagem e programação dos pedidos;

2) mais quatro atores são envolvidos neste fluxo, os fornecedores de lona reciclada, fornecedor de sola, fornecedor de aviamento, linhas, adesivos, palmilhas e viés e por fim o fornecedor de caixa, corrugado e papel bucha;

3) o tênis vai para o ateliê de costura;

4) para o segundo ateliê de costura;

5) vai para a fábrica onde é montado, vulcanizado, acabado e embalado;

6) retorna à Villaget para revisão de qualidade e expedição;

7) transporte para a loja. Fase (8) entregue na loja e por fim na fase (9) ocorre o consumo final.

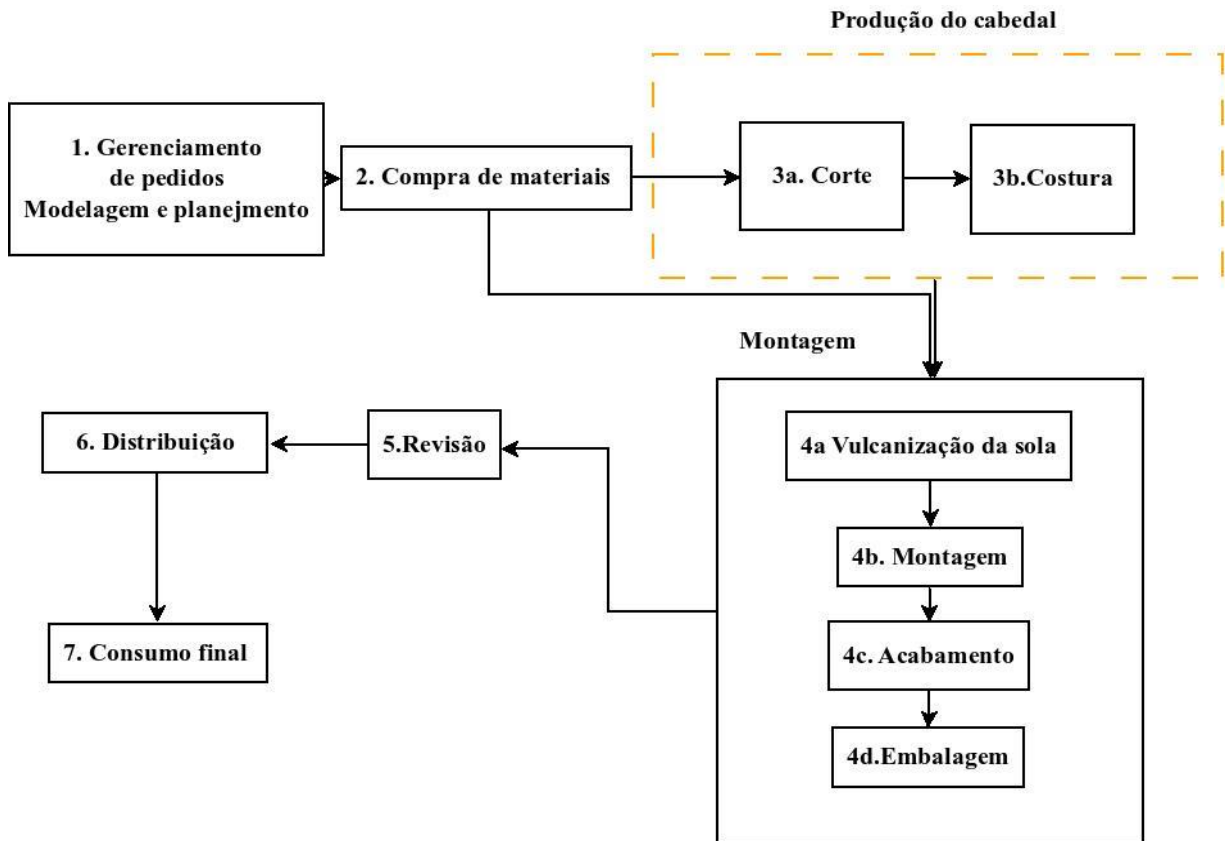


Figura 13. Processo de fabricação dos Calçados Villaget. (2015)

## 4.2 Limitações do estudo e considerações gerais

i) Os impactos associados à matéria-prima utilizada na fabricação do cabedal de lona reciclada serão calculados para o transporte da coleta dos resíduos e quaisquer outros processos de beneficiamento que tenham relevância ambiental frente a cadeia produtiva avaliada. Os impactos associados ao ciclo de vida do Jeans são totalmente desconsiderados, pois o tecido teria a produção que teve independente da utilização dos resíduos para a fabricação de calçados.

ii) Os fluxos elementares relacionados com o uso de energia na fase de produção/extração de matérias-primas serão os mesmos encontrados na base de dados Ecoinvent 3.1, sendo relacionados com a UF e fluxo de referência desse estudo na construção do inventário.

iii) Nas etapas de fabricação do calçado, as entradas de energia serão referentes ao uso de eletricidade. Os fluxos elementares associados ao uso de eletricidade estarão vinculados à matriz energética nacional (Brasil, 2015) referente ao período de setembro de 2014 a agosto de 2015, apresentada no figura 15.

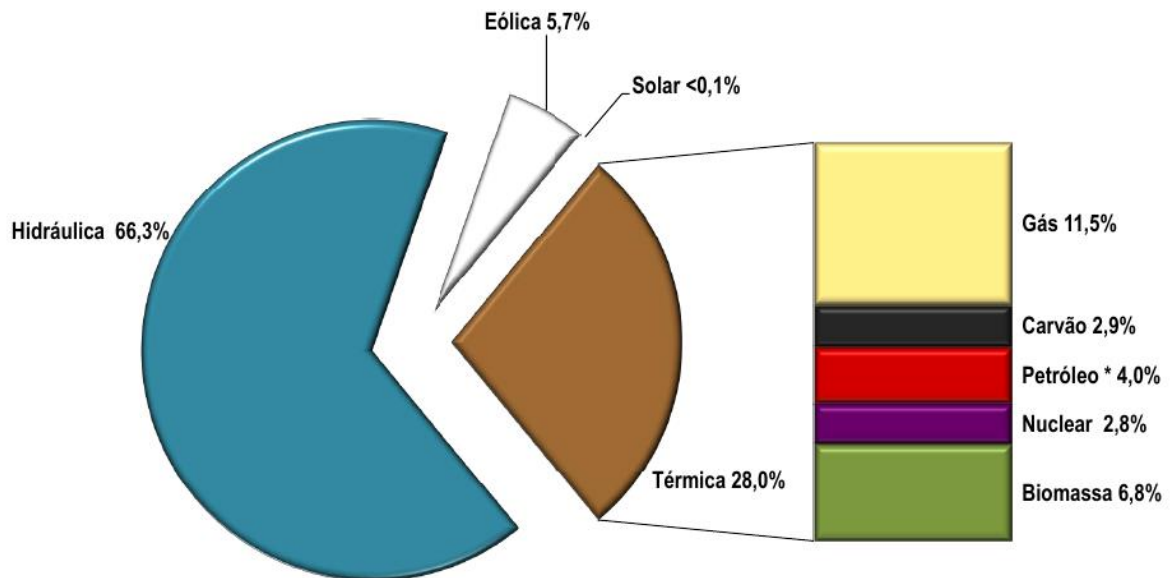


Figura 15. Matriz da produção de eletricidade

iv) Os processos de pigmentação do tecido jeans não foram considerados por falta de dados.

v) No beneficiamento do tecido denim, dentro da fabricação do jeans, foi considerado lenha de eucalipto, *Eucalyptus Grandis*, e poder calorífico de 4.501 kcal/kg (QUIRINO et al., 2005).

## 4.3 Construções do Inventário

### 4.3.1. Matérias-primas

Os fluxos elementares de entrada são relacionados com a massa de matérias-primas necessárias para produzirem-se os componentes utilizados na etapa de fabricação dos calçados. As tabelas a seguir relacionam os materiais

utilizados para a produção dos componentes que serão empregados na fabricação dos calçados e os seus respectivos processos de extração/produção, que se encontram disponíveis na base de dados Ecoinvent 3. O Quadro 1 lista as bases de dados utilizadas para aquisição das matérias-primas, síntese dos polímeros e a própria produção do PU. Para o cabedal constituído de lona de jeans reciclada não são relacionados processos de extração/beneficiamento de materiais, pois o ciclo de vida do jeans não é considerado no ciclo do resíduo. Para o cabedal de tecido de jeans as bases de dados de extração e queima de lenha, cultivo, colheita e beneficiamento da lona de algodão, foram utilizadas. Bases de dados para os processos de transporte de carga terrestre, transoceânico e de gerenciamento de resíduos regionais também foram utilizadas. Os processos associados aos materiais mencionados nos quadros têm inventários construídos baseados em dados coletados de várias partes do mundo. A indicação da localidade da coleta de dados é importante, pois vários fluxos elementares podem variar ao redor do mundo, como por exemplo, a matriz energética, o uso de água e terra, depreciação de ecossistemas, entre outros. As siglas indicadas nos processos referem a origem dos dados: RER é referente a produção da Europa; GLO é produção global; DE é a produção alemã; e CH produção chinesa.

#### **4.3.2. Coleta de dados**

Os dados referentes às entradas para a produção de PU foram estimados pela quantidade utilizada de tecido por par de cabedais. Então, os fluxos associados com os processos elementares da produção do PU, proveniente da base de dados, foram transformados de acordo com a UF e fluxo de referência desse estudo.

Para a Lona reciclada somente foram recolhidos dados referentes ao transporte.

Os dados do inventário da fabricação do tecido denim foram cedidos pela empresa Lojas Renner. A fabricação também foi inventariada de acordo com a UF e fluxo de referência desse estudo.

Os dados da etapa de produção do cabedal foram cedidos pela empresa Villaget, assim como exemplares dos tênis para medidas físicas (massa dos componentes, espessura dos tecidos). Especificações técnicas das lonas e a quantidade utilizada por par de cabedais também são oriundas da mesma fonte, assim como dados referentes ao uso de eletricidade para o corte e costura dos tecidos.

A quantidade de resíduo proveniente da etapa de produção do cabedal foi estimada pela diferença ente a quantidade de lona utilizada por par e pela massa do cabedal, como na equação 1,

$$R_{pc} = L_{pc} \cdot d_{pc} \cdot E_{pc} - M_{pc}$$

onde  $R_{pc}$  é a quantidade de resíduos gerados por par de cabedal;  $L_{pc}$  é a quantidade de tecido/lona utilizada no processo de corte e costura (produção do cabedal), que está em unidade de área por par de cabedal;  $d_{pc}$  é a densidade da lona; o  $E_{pc}$  é a espessura da lona;  $M_{pc}$  é " a massa de lona que fica no par de cabedal.

#### 4.3.3. Transporte

Os dados de transporte para a etapa de fabricação do tecido, para o sistema de produto cabedal de jeans, foram disponibilizados pela empresa Renner. Os outros dados de transporte foram estimados segundo as informações da tabela 3. O transporte dos resíduos da etapa de produção do cabedal (corte e costura do tecido) foi considerado o mesmo para os três cenários estudados, com exceção das cargas transportadas que é referente à massa de resíduo por UF. A distância do transporte do resíduo foi estimada a partir de uma rota entre a empresa Villaget, em Novo Hamburgo, e o aterro sanitário no município Minas do Leão. O transporte marinho das lonas de PU do porto de Shangai até o porto de Itajaí, pela rota marítima do cabo Canaveral, foi considerado.



Para os transportes de carga terrestres foi considerado um caminhão de carga com 16 toneladas de capacidade, sendo o processo extraído da base de dados Ecoinvent. Para o transporte de resíduos da etapa de produção foi utilizado base de dados da ecoinvent para transporte de recolhimento de resíduos municipais por um caminhão com capacidade de 21 toneladas.

Tabela 3. Componentes dos calçados de PU (2015)

<b>Sistema de produto</b>	<b>Ponto de partido</b>	<b>Destino</b>	<b>Distância (km)</b>
<b>PU</b>	Porto de Shangai	Porto de Itajaí	21107
<b>PU</b>	Porto de Itajaí	Novo Hamburgo	860
<b>Todos</b>	Novo Hamburgo	Minas do Leão	131
<b>Lona reciclada</b>	São Paulo	Novo Hamburgo	1148
<b>Jeans</b>	Criciúma	Novo Hamburgo	303

#### **4.4. Avaliação de Impactos de Ciclo de Vida**

A escolha dos impactos selecionados para a AICV e os indicadores foram baseados nas substâncias e nos ciclos de vida envolvidos no extração e produção das matérias-primas. Outros impactos foram selecionados devido a sua relevância ambiental para esse tipo de sistema de produto, já discutidos em outros trabalhos (capítulo 3.2.2.). Todos os impactos selecionados foram derivados do método de caracterização CML 2001, disponível no software OpenLCA 1.4.4.

Os impactos selecionados para avaliação de desempenho ambiental foram: potencial de acidificação genérico; mudanças climáticas (em 100 anos), potencial de aquecimento global (PAG); potencial de eutrofização genérico; potencial de toxicidade humana (PTH); potencial de ecotoxicidade aquática marinha (PTAM); potencial de ecotoxicidade de água potável (PEAP); potencial de ecotoxicidade terrestre (PETT).

O PAG é uma das categorias de impacto discutidas em trabalhos de avaliação de performance ambiental, e muitas vezes a única utilizada por esses trabalhos no setor calçadista. As categorias de impacto de acidificação e eutrofização foram selecionadas principalmente pela presença no inventário de processos de queima de combustíveis fósseis e usos de fertilizantes e outros defensivos.

#### **4.5. Avaliações estatísticas**

Posterior a AICV, foi realizado a análise incerteza para as categorias de impacto selecionadas. A SMC foi utilizada para a obtenção dos parâmetros estatísticos das categorias de impacto, referente a todas as incertezas propagadas associadas aos dados alimentados na construção do inventário e uso de base de dados. Para testar a significância da diferença das categorias de impacto ambientais entre os três cenários no sistema de produto, foi empregado ANOVA nos dados de incerteza calculados pela SMC, ou seja, também é referente às incertezas propagados por todos os fluxos e processos. Para as categorias de impacto que apresentam fontes de variação inerentes aos fatores dos dados, nesse caso a natureza do cabedal, a diferença entre as médias é caracterizada e testada pelo teste de significância TuskeyHSD, que utiliza as informações dos modelos criados pelo ANOVA para testar as diferenças entre pares de fatores.

#### **4.6. Interpretação da ACV**

A interpretação do ACV é seguida como sugerido na EN ISO 14044 2001 que indica s seguintes etapas:

- I) identificação de questões de interesse.
- ii) Avaliação.
- iii) Conclusões.

A identificação de questões de interesse se dá pela interpretação dos resultados do ICV e do AICV. A qualidade dos dados é avaliada e as mudanças

necessárias na modelagem são efetuadas. Considerando essas questões, conclusões podem ser formadas em função do objetivo e escopo do trabalho e também suas limitações (Kralisch, 2015).

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Inventário

O processo de coleta seguida da construção do inventário de ciclo de vida dos três cenários estudados para esse trabalho resultou em inventários de ciclo de vida que foram utilizados para a avaliação dos impactos de ciclo de vida.

#### 5.1.1. Cabedal de PU

Etapa de produção de Lona de PU na Tabela 4 representa o inventário do de entradas e saídas para o calçado.

Tabela 4. Dados da etapa de produção de Lona de PU (2015)

<b>Entrada</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>/UF</b>	<b>Unidade</b>
Poliols, na planta /RER U	0,05109675	kg	20,2917968	kg/UF
Infraestrutura, planta química, Orgânicos/RER U	5,295E-11	Item(s)	2,1028E-08	Item(s)/UF
Caminhão 16 ton, frota média Transporte	0,02793113	t*km	11,092148	tkm/UF
Resíduo, poliuretano 0,2% efluente	0,0026475	kg	1,05138844	kg/UF
Metilenedifenildiisocianato, na planta/RER U	0,081543	kg	32,3827639	kg/UF
Eletricidade, média voltagem, Grid CH	0,05520038	kWh	21,9214489	kWh/UF
<b>Saída</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>/UF</b>	<b>Unidade</b>
Calor, resíduo	0,1985625	MJ	78,8541328	MJ/UF
Poliuretano	0,132375	kg	397,125	kg/UF

Etapa de produção do cabedal de Lona de PU, contabilizando o transporte até a fábrica.

Tabela 5. Dados da etapa de transporte de Lona de PU (2015)

<b>Entrada</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>/UF</b>	<b>Unidade</b>
Fragata transocênica, Transporte Marítimo	2,90791392	tkm	8723,74177	tkm/UF
Caminhão 16 ton, frota média Transporte	0,1138425	tkm	341,5275	tkm/UF
Poliuretano	0,132375	kg	397,125	kg/UF
Eletricidade, média voltagem, Grid BR	0,83053029	kWatt/h	2491,59088	kWh/UF
Transporte Resíduo	0,01734113	tkm	52,023375	tkm/UF
<b>Saída</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>/UF</b>	<b>Unidade</b>
Cabedal	1	N-cabedal	3000	N-cabedal
Resíduos	0,132375	kg	397,125	kg/UF

### 5.1.2. Cabedal de Lona de jeans

Etapa de produção do tecido e transporte até a fábrica de calçados:

Tabela 6. Dados da etapa de produção de Lona de Jeans (2015)

<b>Entrada</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>/UF</b>	<b>Unidade</b>
Fibra de algodão /RER U	0,29759184	kg/kg	162,028042	kg/UF
Fibra de elastano, na planta, /RER U	0,0060733	kg/kg	3,30669474	kg/UF
Lenha (CV ges) Extração, floresta /US U	0,32712037	kg/kg	178,105263	kg/UF
Lenha (CV ges) Queima	0,32712037	kg/kg	178,105263	kg/UF
Eletricidade, média voltagem, Grid BR	1,74000195	kwth/kg	947,368421	kwth/UF
Caminhão 16 ton, frota média Transporte	0,79933167	tkm/kg	435,207321	tkm/UF
Caminhão 16 ton, frota média Transporte	0,82050321	tkm/kg	446,734459	tkm/UF
Caminhão 16 ton, frota média Transporte	0,01635602	tkm/kg	8,90526316	tkm/UF
<b>Saída</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>/UF</b>	<b>Unidade</b>
Tecido Jeans	1,5124	kg	544,464	kg/UF
Efluente (lodo)	0,01983602	kg/kg	10,8	kg/UF

Etapa de produção do cabedal de lona de jeans:

Tabela 7. Dados da etapa de transporte lona de Jeans (2015)

<b>Entrada</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>/UF</b>	<b>Unidade</b>
Caminhão 16 ton, frota média Transporte	0,0550	tkm	164,97	tkm/UF
Eletrecidade	0,8305	kwth	2491,59	kwth/UF
Transporte de residuos	0,0139	tkm	41,79	tkm/UF
Tecido Jeans	0,1815	kg	544,46	kg/UF
<b>Saída</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>/UF</b>	<b>Unidade</b>
Cabedal	1	N-cabedal	3000,00	N-cabedal
Residuos	0,1063	kg	319,02	kg/UF

### 5.1.3. Cabedal de Lona reciclada

Produção do cabedal com lona reciclada:

Tabela 8. Dados da etapa de produção Lona Reciclada (2015)

<b>Entrada</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>/UF</b>	<b>Unidade</b>
Lona Reciclada	0,181488	kg	544,464	kg/UF
Transporte Lona reciclada	0,01393044	tkm	41,7913056	tkm/UF
Eletricidade	0,83053029	kWth	2491,59088	kWth/UF
<b>Saída</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>/UF</b>	<b>Unidade</b>
Cabedal de Lona reciclada	1	N-cabedal	3000	N-cabedal
Residuo	0,1063392	kg	319,0176	kg/UF

Transporte da lona reciclada até a fábrica de calçados:

Tabela 9. Dados da etapa de transporte Lona Reciclada (2015)

<b>Entrada</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>/UF</b>	<b>Unidade</b>
Caminhão 16 ton, frota média Transporte	0,20834822	tkm	625,044672	tkm/UF
<b>Saída</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>/UF</b>	<b>Unidade</b>
Lona Reciclada	0,181488	kg	544,464	kg/UF

Com os dados acima apresentados temos o inventário, a empresa que fornece a lona reciclada não disponibilizou as informações do processo de confecção da lona.

## 5.2. Resultados caracterizados da ACV

Na comparação entre os três sistemas de produto o cabedal de PU é o que apresenta pior performance ambiental, com exceção da categoria de impacto de toxicidade humana em que o cabedal de tecido de jeans é o pior, como pode ser observado na Figura 4. Os resultados absolutos para as categorias de impacto para cada um dos sistemas de produto estão na tabela 10. O cabedal de lona reciclada apresentou maior impacto que o tecido de jeans na categoria de impacto de ecotoxicidade terrestre, e valor semelhante ao cabedal de tecido de jeans na categoria de aquecimento global.

Tabela 10. Categoria de impactos ambientais (2015)

Categoria de Impacto	Jeans	Lona Reciclada	Poliuretano	Unidade
Potencial de Acidificação (PA)	3,45931	1,30042	9,56274	kg SO2-Eq
Potencial de Aquecimento PAG	726,458	724,13	2434,83	kg CO2-Eq
PE	5,35292	1,84511	9,65595	kg PO4-Eq
PEAP	28,1592	10,3903	32,4013	kg 1,4-DCB-Eq
PTH	498,788	93,805	134,57	kg 1,4-DCB-Eq
PEAM	144,857	55,7077	147,984	kg 1,4-DCB-Eq
PTT	0,13826	0,182854	0,436168	kg 1,4-DCB-Eq

Conforme pode ser visto no figura 16 o cabedal de lona reciclada é o menos impactante, exceto na ecotoxicidade terrestre devido ao processo de transporte da lona, o que nos remete a uma possibilidade de revisão dos fluxos de transporte para minimizar este impacto.

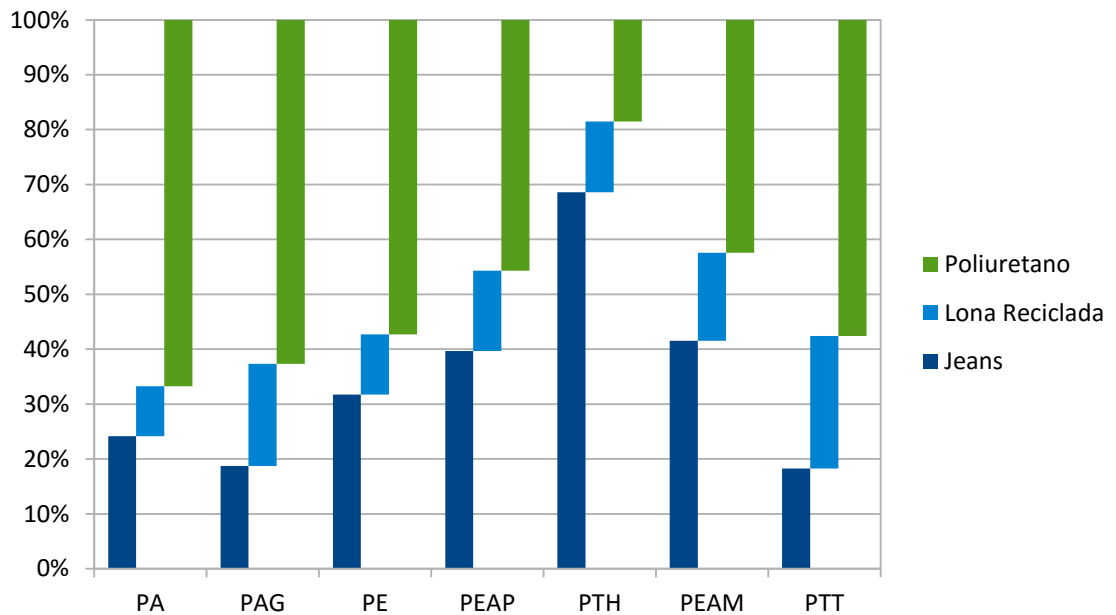


Figura 16. Comparativo dos impactos ambientais, por produto (2015)

### 5.2.1. Resultado por etapa

Os resultados caracterizados da ACV foram compartimentados em três etapas

em comum dos cenários em estudo, com a intenção de verificar as fontes dos gargalos ambientais no processo de fabricação de cada cabedal. As etapas são: produção do tecido/lona; processos de transporte de produtos; produção do cabedal. O cabedal de jeans apresenta a grande maioria de suas emissões na fase de produção do tecido, enquanto que para cabedal de lona reciclada não foi considerado essa etapa do ciclo de vida nesse estudo. O cabedal de PU também apresenta maior parte de suas emissões na etapa de produção das matérias-primas, no entanto apresenta valores significativos em algumas categorias de impacto na fase de produção do cabedal e na de transporte. O cabedal de lona reciclada apresenta emissões em sua maioria para a produção de cabedal, sendo a etapa de transporte apresentando valores mais relevantes somente para acidificação e eutrofização.

Impactos ambientais por etapas de ciclo de vida para o cabedal de lona de PU.

Tabela 11. Impactos ambientais na lona de PU % por etapa

Etapa	PAG	Eutrofização	Acidificação	PETH	PEAP	PEAM	PETT
Produção do PU	68	56,3	64,93	53,17	71,04	68,57	59,09
Produção do Cabedal	27	16,85	9,67	44,03	28,11	30	40,91
Transporte	5	26,85	25,4	2,8	0,85	1,43	0

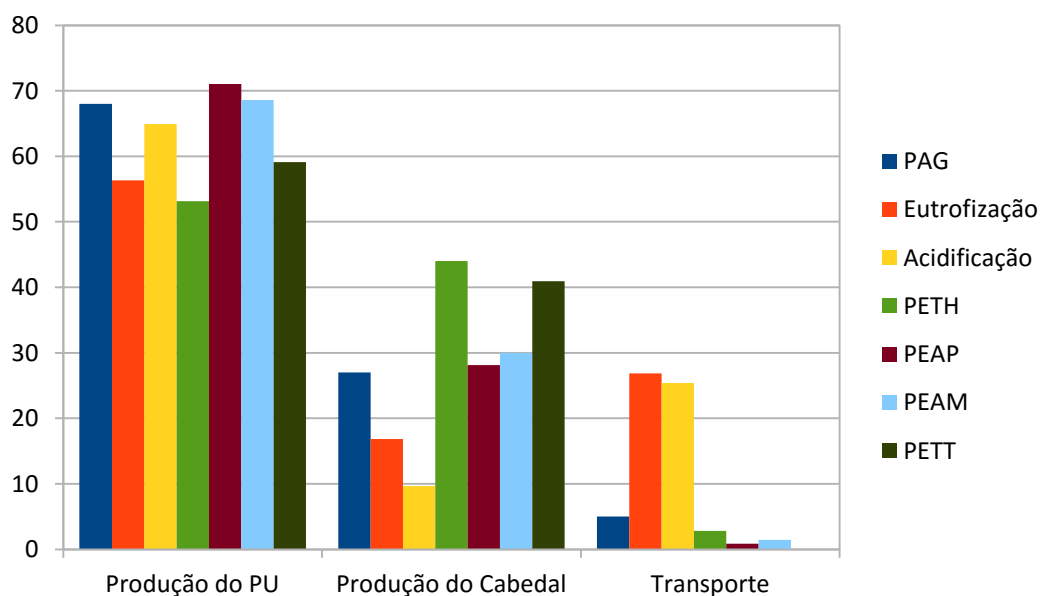


Figura 17. Comparativo dos impactos ambientais na Lona de PU % por etapa



## Impactos ambientais por etapas de ciclo de vida para o cabedal de jeans

Tabela 12. Impactos ambientais na lona de Jeans % por etapa

Etapa	PAG	Eutrofização	Acidificação	PETH	PEAP	PEAM	PETT
Fabricação do Tecido	68,08	87	84,57	92,4	84,85	83,76	60,97
Produção do Cabedal	28	9	11	5,4	11,95	10,48	33,82
Transporte	3,92	4	4,43	2,2	3,2	5,76	5,21

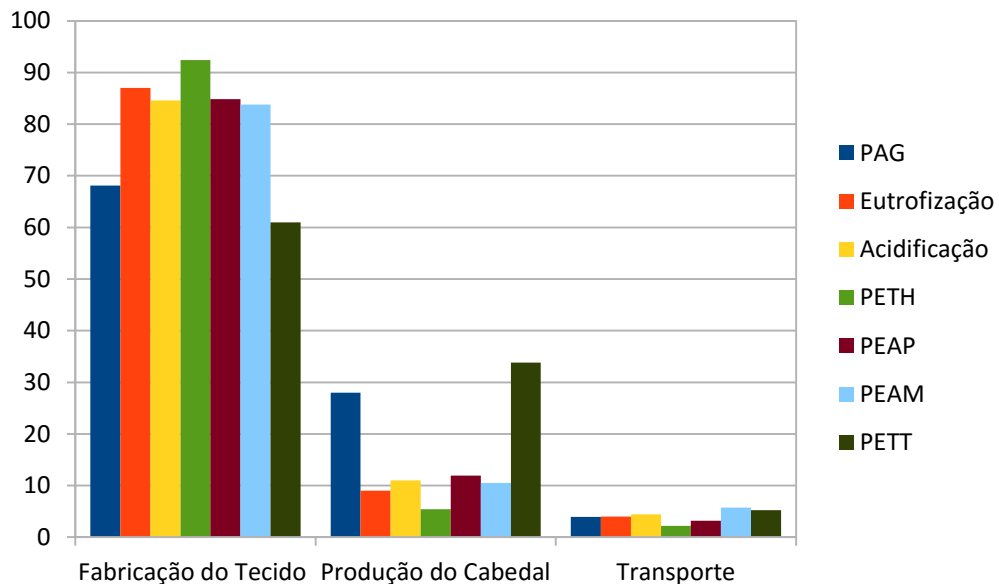


Figura19. Comparativo dos impactos ambientais na lona de jeans % por etapa

Impactos ambientais por etapas de ciclo de vida para o cabedal de lona reciclada estudada.

Tabela 13. Impactos ambientais na lona de Jeans % por etapa

Etapa	PAG	Eutrofização	Acidificação	PETH	PEAP	PEAM	PETT
Fabricação do Tecido	4,75	3,2	2,73	2	3,3	4,51	2
Produção do Cabedal	83,44	64,24	63,79	87,55	83,24	76,54	90,36
Transporte	11,81	32,56	36,21	10,45	13,46	18,95	7,64

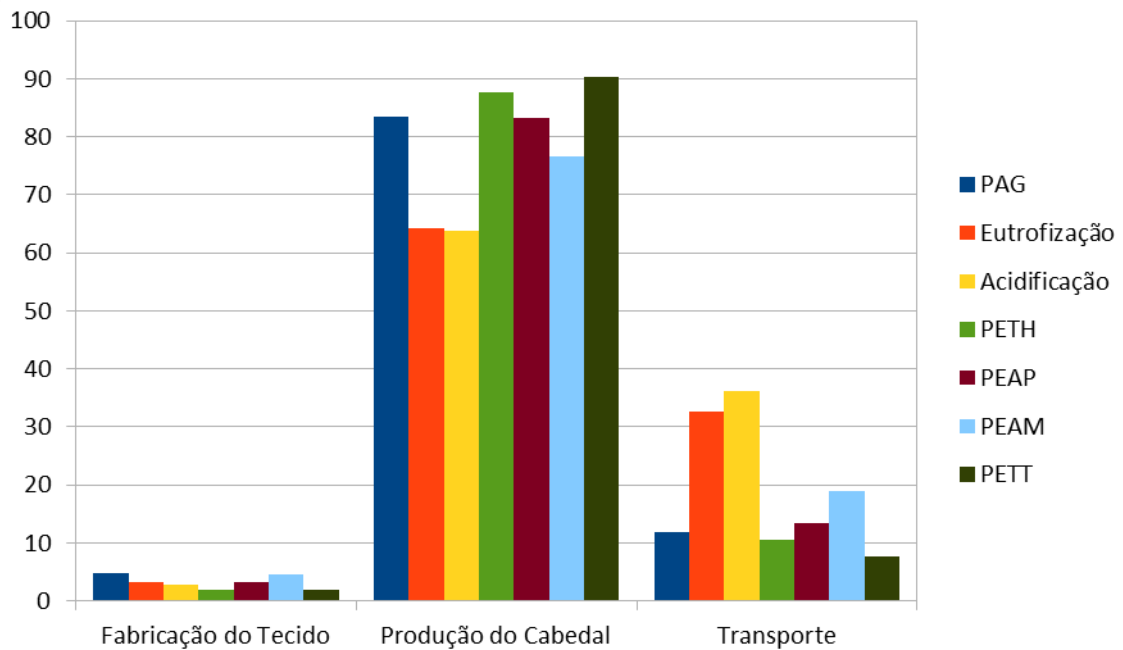


Figura 18. Comparativo dos impactos ambientais na lona reciclada % por etapa

### 5.3. Análise de contribuição

As substâncias emitidas e processos elementares que estão associados às emissões resultantes desse estudo de ACV foram organizados por ordem de contribuição para a identificação dos problemas ambientais.

#### 5.3.1. Contribuição dos fluxos de produto para as categorias de impacto para sistema de produto

As principais substâncias associadas à categoria de impactos de acidificação, para os três cabedais estudados, são emissões de óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre, oriundos em sua maioria de processos de queima de diesel. Para a categoria de impacto de PAG, as principais emissões são de dióxido de carbono e metano. Dióxido de carbono em grande parte de origem fóssil, mas também oriundo de mudanças em solos. As emissões de metano são tanto de origem fóssil quanto biogênica, a última proveniente principalmente de produção de eletricidade por usinas hidroelétrica. Na categoria de impacto de eutrofização, os fosfatos e óxidos

de enxofre são as principais substâncias emitidas, em sua maioria de origem de queima de emissões relacionadas a processos de transporte e efluentes de mineração. Para as categorias de ecotoxicidade relacionadas com o meio aquático, PEAM e PEAP, O berílio e o cobalto são os principais fluxos de emitidos. Emissões de mercúrio e aldrim são os principais contribuintes para a categoria de impacto de PETH. O aldrim aparece novamente contribuindo para as emissões de PTH, mas a principal substância dessa categoria é o cromo VI.

### Lona reciclada

Tabela 14. Contribuição dos fluxos de produto para as categorias de impacto de Lona Reciclada

fluxo lona		
<b>Acidificação</b>		
<b>Fluxo</b>	<b>kg SO2-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	1,5820	100,0000
Outros	0,0368	4,1304
Óxidos e Nitrogênio	0,4878	30,8367
Óxidos e Nitrogênio	0,4206	26,5855
Dióxido de Enxofre	0,3548	22,4259
Óxidos e Nitrogênio	0,1402	8,8635
Dióxido de Enxofre	0,1132	7,1579
Amônia	0,0286	1,8072
<b>PAG</b>		
<b>Fluxo</b>	<b>kg_CO2-eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	707,0460	100,0000
Outros	9,0549	1,2807
Dióxido de Carbono, fóssil	288,8623	40,8548
Dióxido de Carbono, mudança da terra	171,0910	24,1980
Metano, biogênico	80,9938	11,4552
Dióxido de Carbono, fóssil	73,4461	10,3877
Dióxido de Carbono, fóssil	63,6422	9,0011
Metano, fóssil	19,9557	2,8224
<b>Eutrofização</b>		
<b>Fluxo</b>	<b>kg PO4-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	0,3566	100,0000
Outros	2,5285	5,4310
Fosfato	0,1114	31,2416
Óxido de Nitrogênio	0,0906	25,4095
Óxido de Nitrogênio	0,0781	21,9066
Óxido de Nitrogênio	0,0260	7,3036
Fosfato	0,0257	7,2150
Amônia	0,0053	1,4928
<b>PETAP</b>		

continua....

<b>Fluxo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	15,6768	100,0000
Outros	0,5453	3,4785
Berílio	7,4849	47,7448
Cobalto	4,5578	29,0734
Aldrim	1,6077	10,2553
Selênio	0,6573	4,1929
Atrazina	0,5134	3,2747
Bário	0,3105	1,9805
<b>PETH</b>		
<b>Fluxo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	119,6740	100,0000
Outros	-193,2759	21,2722
Aldrim	26,5139	22,1551
Cromo VI	22,8221	19,0702
PAH, Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	14,7820	12,3519
Arsênico	14,0248	11,7191
PAH, Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	9,3524	7,8149
Benzeno	6,7215	5,6165
<b>PEAM</b>		
<b>Fluxo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	78,4866	100,0000
Outros	1,0215	16,3706
Berílio	27,0373	34,4484
Cobalto	15,9350	20,3029
Barita	14,2418	18,1455
Vanádio	3,3997	4,3316
Triblutins	2,6387	3,3620
Selênio	2,3852	3,0390
<b>PETT</b>		
<b>Process</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	0,2031	100,0000
Outros	0,2031	13,3888
Aldrim	0,1161	57,1500
Arsênico	0,0134	6,6022
Atrazina	0,0098	4,8347
Bário	0,0029	1,4130
Cromo	0,0171	8,3943
Mercúrio	0,0167	8,2170

## Jeans

Tabela 15. Contribuição dos fluxos de produto para as categorias de impacto de Lona de jeans

<b>Jeans fluxo</b>		
<b>Acidificação</b>		
<b>Fluxo</b>	<b>kg SO2-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	3,5090	100,0000
Outros	0,0175	5,7097
Óxidos e Nitrogênio	1,7954	51,1658
Dióxido de Enxofre	0,7586	21,6195
Dióxido de Enxofre	0,2709	7,7198
Óxidos e Nitrogênio	0,2501	7,1260
Dióxido de Enxofre	0,2337	6,6591
Óxidos e Nitrogênio	0,1662	4,7354
Amônia	0,0166	0,4744
<b>PAG</b>		
<b>Fluxo</b>	<b>kg CO2-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	735,6266	100,0000
Outros	19,6049	6,4658
Dióxido de Carbono, fóssil	303,9339	41,3163
Dióxido de Carbono, fóssil	207,6956	28,2338
Dióxido de Carbono, fóssil	88,9771	12,0954
Dióxido de Carbono, mudança da terra	59,3357	8,0660
Metano, biogênico	28,1199	3,8226
Metano, fóssil	20,1213	2,7353
Metano, tetrafluoro-, R-14	7,8382	1,0655
<b>Eutrofização</b>		
<b>Fluxo</b>	<b>kg PO4-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	1,1061	100,0000
Outros	0,0306	8,1908
Óxido de Nitrogênio	0,4668	42,2044
Fosfato	0,2590	23,4155
Fosfato	0,1793	16,2114
Óxido de Nitrogênio	0,0650	5,8780
Fosfato	0,0453	4,0999
Óxido de Nitrogênio	0,0432	3,9060
Nitrato	0,0168	1,5225
<b>PETAP</b>		
<b>Fluxo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	30,4754	100,0000
Outros	0,9196	5,6849
Berílio	13,7399	45,0852
Cobalto	10,9061	35,7867
Metolachlor	2,2470	7,3731
Selênio	1,1864	3,8929
Bário	0,6635	2,1772
Aldrim	0,5575	1,8294
Molibdênio	0,2554	0,8380
<b>PETH</b>		

continua....

<b>Fluxo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	507,8188	100,0000
Outros	30,4096	8,5767
PAH, Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	352,8722	69,4878
Cromo VI	73,0989	14,3947
Arsênio	21,2516	4,1849
Aldrim	9,1946	1,8106
PAH, Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	7,8473	1,5453
Benzeno	7,5249	1,4818
Níquel	5,6197	1,1066
<b>PEAM</b>		
<b>Fluxo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	152,6690	100,0000
Outros	20,5572	18,6739
Berílio	49,6323	32,5097
Cobalto	38,1304	24,9759
Barita	21,5996	14,1480
Vanádio	7,9895	5,2332
Triblutins	6,8079	4,4593
Selênio	4,3051	2,8199
Cobre	3,6470	2,3888
<b>PETT</b>		
<b>Fluxo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição (%)</b>
Total	0,1474	100,0000
Outros	0,0213	25,1796
Aldrim	0,0403	27,3186
Mercúrio	0,0364	24,6744
Mercúrio	0,0126	8,5843
Vanádio	0,0110	7,4766
Cipermetrin	0,0100	6,7665
Cromo VI	0,0096	6,5003
Bário	0,0062	4,2328

## PU

Tabela 16. Contribuição dos fluxos de produto para as categorias de impacto de Lona PU

<b>PU</b>		
<b>Acidificação</b>		
<b>Fluxo</b>	<b>kg SO2-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	10,4835	100,0000
Outros	0,0800	2,1959
Dióxido de Enxofre	4,0942	39,0542
Óxidos e Nitrogênio	2,8294	26,9887
Óxidos e Nitrogênio	2,4774	23,6314
Dióxido de Enxofre	0,6431	6,1344
Óxidos e Nitrogênio	0,2092	1,9954
Amônia	0,1044	0,9955
Ácido clorídrico	0,0459	0,4377
<b>PAG</b>		

continua....

<b>Fluxo</b>	<b>kg_CO2-eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	2466,8057	100,0000
Outros	17,8694	0,7244
Dióxido de Carbono, fóssil	1551,3205	62,8878
Metano, fóssil	306,5742	12,4280
Dióxido de Carbono, fóssil	188,5395	7,6431
Dióxido de Carbono, mudança da terra	171,0984	6,9360
Dióxido de Carbono, fóssil	126,9248	5,1453
Metano, fóssil	81,0265	3,2847
Metano, fóssil	23,4524	0,9507
<b>Eutrofização</b>		
<b>Fluxo</b>	<b>kg PO4-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	1,6984	100,0000
Outros	0,0239	3,4495
Fosfato	0,5298	31,1924
Óxidos e Nitrogênio	0,5255	30,9381
Óxidos e Nitrogênio	0,4601	27,0895
Fosfato	0,0857	5,0430
Óxidos e Nitrogênio	0,0388	2,2874
Amônia	0,0194	1,1440
Nitrato	0,0153	0,8979
<b>PETAP</b>		
<b>Fluxo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	50,2580	100,0000
Outros	1,4072	4,7800
Berílio	25,5976	50,9324
Cobalto	16,3249	32,4823
Selênio	2,5537	5,0812
Bário	1,7717	3,5252
Aldrim	1,6077	3,1989
Atrazina	0,5134	1,0215
Molibdênio	0,4818	0,9586
<b>PETH</b>		
<b>Fluxo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	236,8386	100,0000
Outros	48,5134	30,8134
Chromium VI	66,7411	28,1800
Arsênico	34,4307	14,5376
Aldrim	26,5139	11,1949
Níquel	19,0166	8,0294
PAH, Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	17,1582	7,2447
PAH, Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	16,5220	6,9761
Benzeno	7,9426	3,3536
<b>PEAM</b>		

continua...

<b>Fluxo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	219,4994	100,0000
Outros	23,4369	17,1449
Berílio	92,4656	42,1257
Cobalto	57,0758	26,0027
Bário	14,5530	6,6301
Selênio	9,2667	4,2217
Níquel	8,5055	3,8749
Vanádio	7,8421	3,5727
Bário	6,3538	2,8947
<b>PETT</b>		
<b>Fluxo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição</b>
Total	0,4715	100,0000
Outros	0,0294	11,3793
Mercurio	0,2438	51,7028
Aldrim	0,1161	24,6201
Mercurio	0,0200	4,2314
Mercurio	0,0197	4,1681
Cromo VI	0,0184	3,8983
Arsênico	0,0134	2,8455
Vanádio	0,0108	2,2935

### 5.3.2. Contribuição dos processos elementares para as categorias de impacto para cada cabedal

É possível observar pela tabela 16, que o processo de produção do metil-difenil isocianato é um dos principais contribuintes para as emissões do sistema de produto do cabedal de PU. Esse processo é referente a produção de um dos reagentes no processo de produção da resina de PU, e se apresenta como o processo mais impactante em acidificação, PAG e PETT. Também para o cabedal de PU, o processo de transporte marinho é a principal fonte de emissões para a categoria de eutrofização, e para PEAM, PEAP e PTH os principais processos são referentes a produção metais para infraestrutura e outros. Os processos associados às categorias de impactos do cabedal de jeans estão principalmente relacionados com a extração e queima de lenha na chuscadeira. Os processos que mais contribuem para as emissões para o cabedal de lona reciclada estão relacionadas principalmente com a produção de eletricidade, por hidroelétrica, biomassa, e queima de combustíveis nos processo de transporte.



## Lona reciclada

Tabela 17. Contribuição dos fluxos de produto para as categorias de impacto de Lona Reciclada

<b>Acidificação</b>		
<b>Processo</b>	<b>kg SO2-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	1,5820	100,0000
Outros	0,5422	34,2726
Transporte, Caminhão 16t frota média/km/RER	0,4167	26,3393
transporte, recolhimento de resíduos, caminhão 21t/tkm/CH	0,2308	14,5918
gás natural, usina de energia /MJ/UCTE	0,0965	6,1018
gas natural, gás ácido, queima em exaustão/MJ/GLO	0,0873	5,5204
<b>PAG</b>		
<b>Processo</b>	<b>kg CO2-eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	707,0460	100,0000
Outros	113,0022	15,9823
Eletrecidade, hidroelétrica /kWh/BR	252,0696	35,6511
gás natural, usina de energia /MJ/UCTE	153,1948	21,6669
Eletrecidade, cogeração 200kWe diesel SCR /kWh/CH	59,4131	8,4030
Transporte, Caminhão 16t frota média/km/RER	57,7407	8,1665
<b>Eutrofização</b>		
<b>Processo</b>	<b>kg PO4-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	0,3566	100,0000
Outros	0,0739	20,7239
Transporte, Caminhão 16t frota média/km/RER	0,0776	21,7623
Descarte, resíduo de mineração de carvão/kg/GLO	0,0705	19,7778
transporte, municipal recolhimento de resíduos, caminhão 21t/tkm/CH	0,0419	11,7502
Descarte, rejeitos sulfídicos /kg/GLO	0,0361	10,1134
<b>PETAP</b>		
<b>Processo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	15,6768	100,0000
Outros	0,6411	4,0897
Descarte, rejeitos sulfídicos /kg/GLO	5,2083	33,2228
Descarte, resíduo de mineração de carvão/kg/GLO	4,2018	26,8027
cana de açúcar /kg/BR	2,1363	13,6269
Descarte, resíduo de mineração de lignito /kg/GLO	1,5712	10,0223
<b>PETH</b>		
<b>Processo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	119,6740	100,0000
Outros	26,7699	22,3690
cana de açúcar /kg/BR	26,7084	22,3176
Cromoférrico, 68% Cr t/kg/GLO	22,4233	18,7370
Cobre /kg/RLA	14,0763	11,7622
gás natural, usina de energia /MJ/UCTE	12,6237	10,5484
<b>PEAM</b>		

continua...

<b>Processo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	78,4866	100,0000
Outros	16,8354	100,0000
Descarte, rejeitos sulfídicos /kg/GLO	18,6369	#REF!
Descarte, resíduo de mineração de carvão/kg/GLO	15,0167	#REF!
Exploração de petróleo /m/OCE/I	14,2418	#REF!
Descarte, resíduo de mineração de lignito /kg/GLO	5,6079	#REF!
<b>PETT</b>		
<b>Process</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	0,4762	100,0000
Outros	0,0543	11,4111
Metileno difenildiisocianato /kg/RER	0,1442	30,2765
cana de açúcar /kg/BR	0,1416	29,7462
Poliols /kg/RER	0,0965	20,2747
transmissão de energia elétrica de média voltagem/km/CH/I	0,0186	3,8978

## Lona de Jeans

Tabela 18. Contribuição dos fluxos de produto para as categorias de impacto de Lona Jeans

<b>Acidificação</b>		
<b>Processo</b>	<b>kg SO2-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	9,9976	100,0000
Outros	0,7241	9,4828
Metileno difenildiisocianato /kg/RER	4,0315	40,3242
Trasnporte, fragata oceânica, movida a diesel	2,4557	24,5624
Poliols /kg/RER	2,1217	21,2222
Transporte, Caminhão 16t frota média/km/RER	0,2877	2,8774
<b>PAG</b>		
<b>Processo</b>	<b>kg CO2-eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	2413,3171	100,0000
Outros	265,5650	15,1181
Metileno difenildiisocianato /kg/RER	977,8769	40,5200
Poliols /kg/RER	538,0621	22,2955
Eletrecidade, hidroelettrica /kWh/BR	252,0702	10,4450
gás natural, usina de energia /MJ/UCTE	154,1793	6,3887
<b>Eutrofização</b>		
<b>Processo</b>	<b>kg PO4-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	1,6678	100,0000
Outros	0,2046	16,3881
transporte, fragata oceânica a diesel	0,4561	27,3437
Descarte, resíduo de mineração de lignita /kg/GLO	0,2867	17,1919
Metileno difenildiisocianato /kg/RER	0,2486	14,9064
Poliols /kg/RER	0,1562	9,3640
<b>PETAP</b>		

continua....

<b>Processo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
total	50,3390	100,0000
outros	4,8073	11,5450
Descarte, residuo de mineração de lignito /kg/GLO	15,1627	30,1211
Resíduo, mineração de carvão/kg/GLO	14,2239	28,2561
Descarte, residuo de mineração de carvão/kg/GLO	8,8459	17,5726
Descarte, resíduos de extração de níquel /kg/CH	2,7537	5,4702
<b>PETH</b>		
<b>Processo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
total	375,1645	100,0000
outros	45,5877	14,0503
Aluminio /kg/RER	110,3361	29,4101
processo de eletrólise de aluminio/kg/RER	103,3332	27,5434
Cromoférrico, 68% Cr t/kg/GLO	72,6312	19,3598
Cobre /kg/RLA	19,0879	5,0879
<b>PEAM</b>		
<b>Processo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
total	222,8220	100,0000
outros	47,6796	23,9427
Descarte, residuo de mineração de lignito /kg/GLO	54,1197	24,2883
Resíduo, mineração de carvão/kg/GLO	50,8975	22,8422
Descarte, residuo de mineração de carvão/kg/GLO	31,6140	14,1880
Exploração de petróleo /m/OCE/I	14,5517	6,5306
<b>PETT</b>		
<b>Process</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
total	0,4762	100,0000
outros	0,0543	11,4111
Metileno difenildiisocianato /kg/RER	0,1442	30,2765
cana de açúcar /kg/BR	0,1416	29,7462
Poliols /kg/RER	0,0965	20,2747
transmissão de energia elétrica de média voltagem/km/CH/I	0,0186	3,8978

## Lona de PU

Tabela 19. Contribuição dos fluxos de produto para as categorias de impacto de Lona de PU

<b>Acidificação</b>		
<b>Processo</b>	<b>kg SO2-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
Total	3,8007	100,0000
Outros	0,6264	21,2182
Queima de diesel /MJ/GLO	2,1825	57,4226
gás natural, queimado em exaustão /MJ/UCTE	0,2546	6,6979
transporte, municipal recolhimento de resíduos, caminhão 21t/tkm/CH	0,2309	6,0742
	0,2267	5,9652
<b>PAG</b>		

continua...

<b>Processo</b>	<b>kg_CO2-eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
total	693,6615	100,0000
outros	212,5707	36,9381
Queima de diesel /MJ/GLO	217,6554	31,3777
Eletrecidade, hidroeletrica /kWh/BR	87,4138	12,6018
gás natural /MJ/UCTE	55,7202	8,0328
transporte, municipal recolhimento de resíduos, caminhão 21t/tkm/CH	45,2299	6,5205
<b>Eutrofização</b>		
<b>Processo</b>	<b>kg PO4-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
total	1,0785	100,0000
outros	0,2744	25,4427
diesel, burned in building machine/MJ/GLO	0,3947	36,5960
Fertilizante (fosfato)	0,1793	16,6235
Descarte, resíduo de mineração de lignito /kg/GLO	0,1190	11,0330
Descarte, resíduo de mineração de carvão/kg/GLO	0,1111	10,3048
<b>PETAP</b>		
<b>Processo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
total	23,3028	100,0000
outros	1,9654	9,6969
Descarte, resíduo de mineração de carvão/kg/GLO	6,6222	28,4182
Descarte, resíduo de mineração de lignito /kg/GLO	6,2925	27,0031
disposal, nickel smelter slag, 0% water, to residual material landfill/kg/CH	4,1629	17,8645
Soja /kg/CH	2,2467	9,6411
<b>PETH</b>		
<b>Processo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
total	375,1645	100,0000
outros	45,5877	14,0503
Aluminio /kg/RER	110,3361	29,4101
processo de eletrólise de aluminio/kg/RER	103,3332	27,5434
Cromoférrico, 68% Cr t/kg/GLO	72,6312	19,3598
Cobre /kg/RLA	19,0879	5,0879
<b>PEAM</b>		
<b>Processo</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição(%)</b>
total	129,3234	100,0000
outros	35,2542	27,2605
Descarte, resíduo de mineração de carvão/kg/GLO	23,6669	18,3006
Descarte, resíduo de mineração de lignito /kg/GLO	22,4595	17,3670
Exploração de petróleo /m/OCE/l	21,5916	16,6958
Descarte, resíduos de extração de níquel /kg/CH	14,5545	11,2544
<b>PETT</b>		
<b>Process</b>	<b>kg 1,4-DCB-Eq</b>	<b>Contribuição</b>
total	0,1019	100,0000
outros	0,0412	40,4049
Liga de aço /kg/RER	0,0245	24,0650
Canola /kg/CH	0,0075	7,3715
Descarte, efluente de perfuração /kg/CH	0,0071	6,9606
sinterização de ferro /kg/GLO	0,0069	6,7455

Os tênis de corrida a base de PU avaliados por ACV para a categoria de

PAG, pelo Cheah et al. (2013), teve a maior parte das emissões na etapa de produção do tênis devido ao uso de eletricidade, enquanto que para o sistema de produto com cabedal de PU avaliado por esse estudo a etapa que mais contribuiu foi a produção e extração de matérias-primas. A etapa de produção do cabedal de PU teve os processos mais impactantes, para a categoria de PAG, produção de eletricidade em hidroelétrica (22 %) e produção de eletricidade por queima de metano (~6%). A discrepância entre os dois sistemas possivelmente devido as diferenças de matrizes energéticas entre Brasil e China. Além disso, comparando as emissões de CO<sub>2</sub>-Eq, o tênis de corrida com cabedal de PU 5.6 kg CO<sub>2</sub>-Eq/par de cabedal (41% do total do tênis) e 0.84 kg CO<sub>2</sub>-Eq/par de cabedal para o cabedal de PU desse estudo. O Cabedal do tênis do estudo do Cheah et al. (2015) é aproximadamente 7 vezes mais impactante do que o cabedal de PU desse estudo, na categoria de PAG. Interessante observar que as matérias-primas são produzidas no mesmo país, China, e que para o cabedal de PU desse estudo foi contabilizado o transporte das lonas de PU até a empresa Villaget

## **5.4. Avaliação Estatística**

### **5.4.1. Análise de incerteza**

Os resultados das SMC para as categorias de impacto para cada sistema de produto estão nas próximas tabelas.

As categorias de impacto de PETAP e PEAM apresentam as maiores incertezas para todos os sistemas de produtos (tabelas). O PTH apresenta a terceira categoria de impacto com maior valor de incerteza, mas com valores mais similares com as outras categorias. Em geral, o cenário de sistema de produto que mais apresentou variação nas categorias de impacto é do cabedal de jeans, como é possível observar na tabela 18.

Para o estudo de ACV de tênis de corrida com cabedal de PU, na categoria de impacto PAG, Cheah et al. (2013) reporta coeficiente de variação (CV) de 20% nos resultados caracterizados dessa categoria, enquanto o sistema de produto com

cabedal de PU desse estudo apresenta somente 10% de CV. No entanto, o presente estudo tende a ter menos fontes de variação, por estudar uma parte específica do calçado.

Tabela 20. Análise de incerteza da lona de jeans

Lona jeans									
Impactos	Unidade	Média	DP	Mínimo	Máximo	Mediana	CV	5% Percentile	95% Percentile
Acidificação	kg SO <sub>2</sub> -Eq	4,9333	1,2367	2,4511	10,9949	4,7351	25,0691	3,2563	7,1802
PAG	kg CO <sub>2</sub> -Eq	820,2344	134,5257	516,7160	1483,3444	806,2746	16,4009	627,8263	1065,7598
Eutrofização	kg PO <sub>4</sub> -Eq	1,3844	0,3592	0,7689	4,7880	1,3224	25,9435	0,9155	2,0473
PETAP	kg 1,4-DCB-Eq	110,5763	1257,0774	16,2983	39682,7695	54,0990	1136,8421	28,2687	145,6224
PETH	kg 1,4-DCB-Eq	673,0950	276,1303	188,2737	3375,0434	611,7897	41,0240	348,0097	1204,1013
PEAM	kg 1,4-DCB-Eq	470,0404	4509,0869	96,4825	142403,8518	270,5633	959,2977	159,9896	599,9158
PETT	kg 1,4-DCB-Eq	0,1837	0,0579	0,0895	0,5363	0,1710	31,5293	0,1164	0,2968

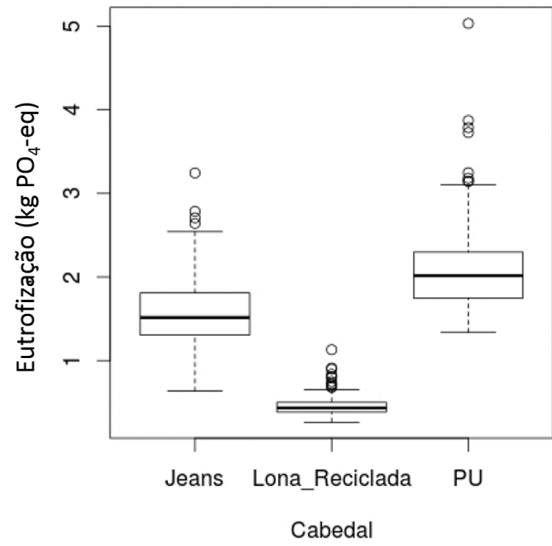
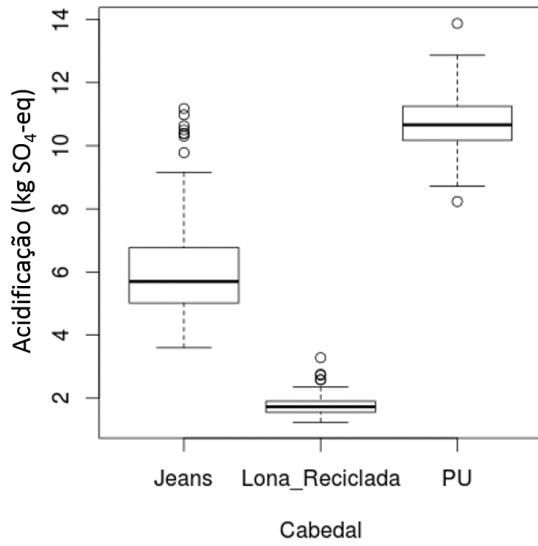
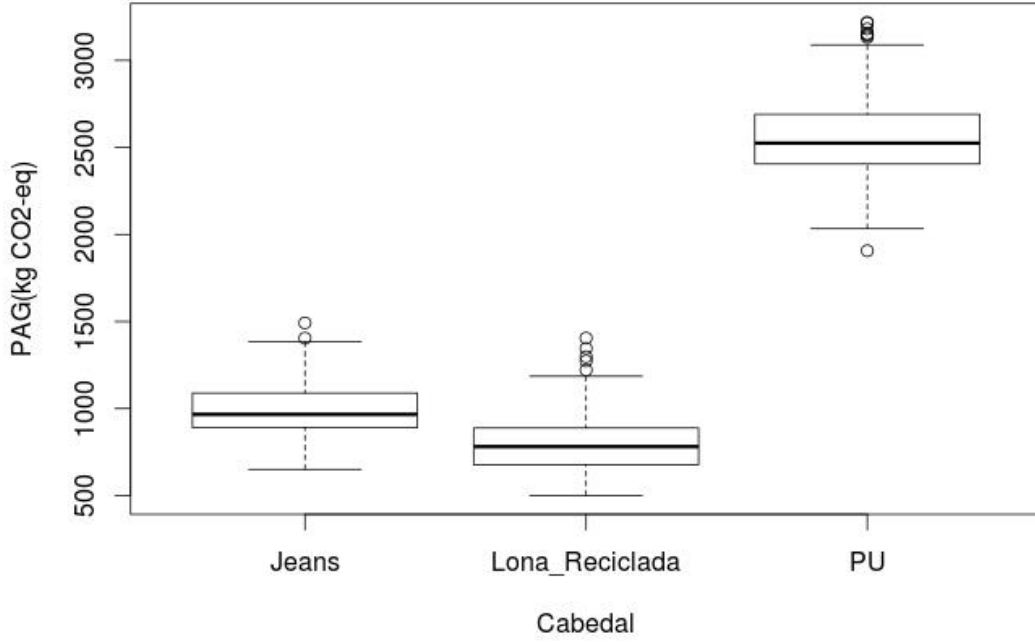
Tabela 21. Análise de incerteza da lona de PU

Lona PU									
Impactos	Unidade	Média	DP	Mínimo	Máximo	Mediana	CV	5% Percentile	95% Percentile
Acidificação	kg SO <sub>2</sub> -Eq	10,6618	0,8379	8,2336	14,2228	10,6489	7,8592	9,3889	12,0910
PAG	kg CO <sub>2</sub> -Eq	2571,0361	265,3393	1906,5877	3661,2701	2545,9154	10,3203	2169,8016	3079,3263
Eutrofização	kg PO <sub>4</sub> -Eq	2,0919	0,5274	1,3074	5,5937	1,9674	25,2119	1,5123	3,0209
PETAP	kg 1,4-DCB-Eq	114,2179	137,4886	32,6588	3315,4501	90,3805	120,3739	51,8286	230,4464
PETH	kg 1,4-DCB-Eq	348,2297	146,3765	122,3001	1620,3810	310,2811	42,0345	197,9697	627,5076
PEAM	kg 1,4-DCB-Eq	469,5606	494,5410	148,1766	11931,9726	383,3831	105,3199	235,5835	902,0984
PETT	kg 1,4-DCB-Eq	0,4659	0,0613	0,3299	0,8833	0,4588	13,1500	0,3812	0,5742

Tabela 22. Análise de incerteza da lona reciclada

Lona Reciclada									
Impactos	Unidade	Média	DP	Mínimo	Máximo	Mediana	CV	5% Percentile	95% Percentile
Acidificação	kg SO <sub>2</sub> -Eq	1,7852	0,2808	1,1610	3,2835	1,7425	15,7306	1,4117	2,3042
PAG	kg CO <sub>2</sub> -Eq	795,4201	166,9053	488,3242	1657,1833	761,7920	20,9833	586,6012	1111,9235
Eutrofização	kg PO <sub>4</sub> -Eq	0,4737	0,1406	0,2464	1,8054	0,4444	29,6913	0,3207	0,7188
PETAP	kg 1,4-DCB-Eq	57,8029	516,5167	8,9615	15779,5179	26,9471	893,5832	14,9741	69,4376
PETH	kg 1,4-DCB-Eq	156,3927	62,5823	74,7167	1170,5944	143,6244	40,0161	100,6938	247,5250
PEAM	kg 1,4-DCB-Eq	241,1526	1852,2610	55,7411	56612,5330	130,4808	768,0866	80,4149	282,7160
PETT	kg 1,4-DCB-Eq	0,1617	0,0348	0,0868	0,3107	0,1551	21,5223	0,1160	0,2262

As seguintes figuras apresentam os dados de distribuição resultante da análise de incerteza para cada categoria de impacto avaliada nesse estudo para cada sistema de produto.



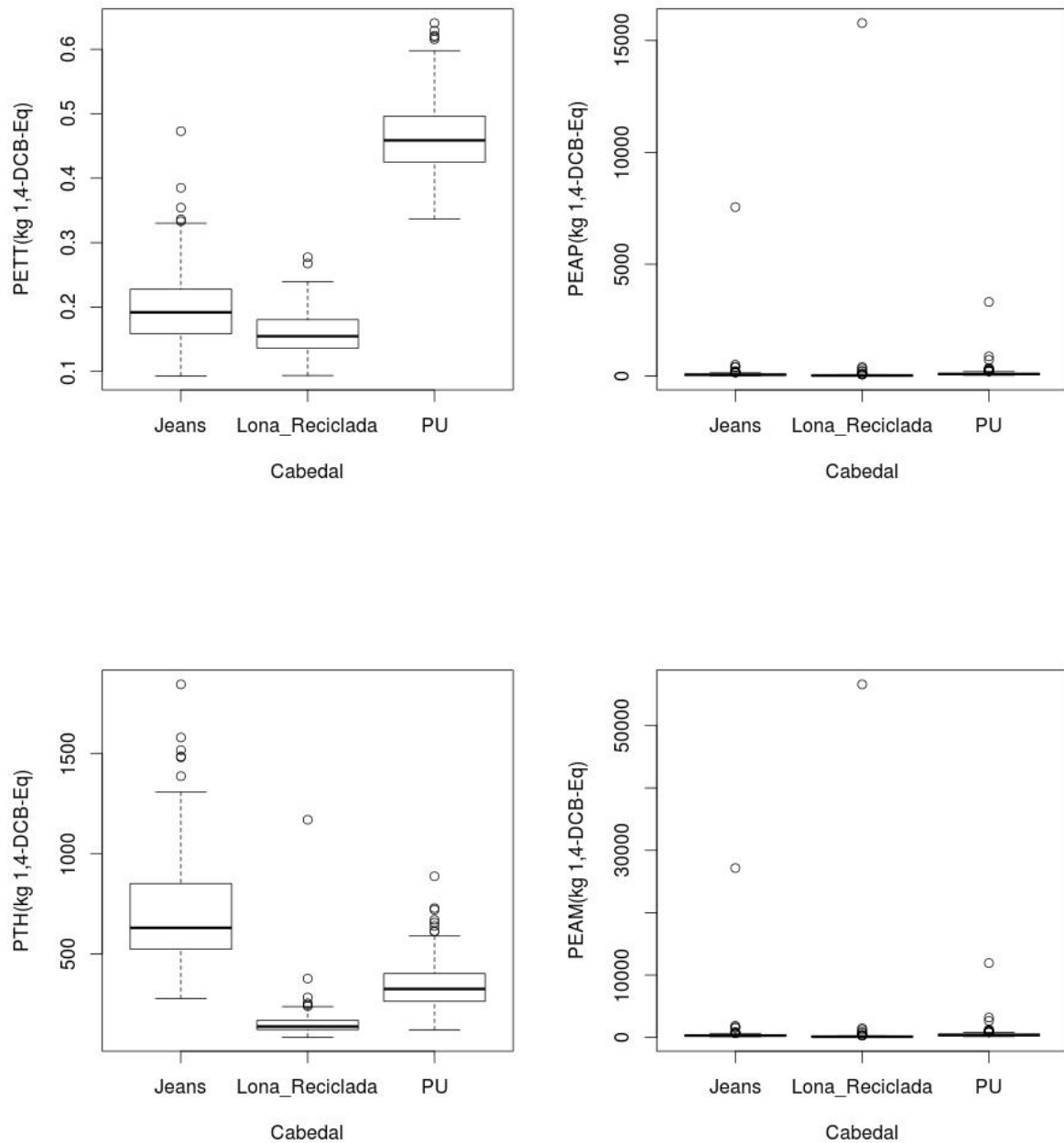


Figura 20. Teste de significância dos impactos ambientais

#### 5.4.2. Testes de significância

Os resultados dos modelos de ANOVA para verificar a significância estatística das diferenças dos valores das categorias de impacto para cada cabedal são apresentados na tabela 23. Os modelos ANOVA apresentam a decomposição das fontes de variação entre os fatores do estudo, os tipos de sistema de produto, e os



resíduos, outras fontes de variação. A média quadrática é a soma das variâncias escaladas pelos graus de liberdade atribuído aos fatores e resíduos. A razão entre as variâncias resulta no parâmetro estatístico F que é testado para a hipótese nula da igualdade entre variâncias. As hipóteses nulas podem ser rejeitadas, devido ao valor p apresentado na tabela 23, para as seguintes categorias: Acidificação; PAG; PTH; PETH; e Eutrofização. Isso significa que para essas categorias de impacto, pode-se afirmar que os valores de impacto são estatisticamente dependentes do tipo de cabedal. As categorias de impacto PEAP e PEAM não apresentaram relação entre os seus valores e o tipo de cabedal, não podendo descartar que seus resultados sejam somente devido a fontes aleatórias.

<b>Acidificação</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Soma das Variâncias</b>	<b>Média quadrática</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
Cabedal	2	7968	3984	3921	<2e-16
Resíduos	600	1	1		
<b>PAG</b>					
Cabedal	2	374266865	187133433	4912	<2e-16
Residuals	600	22857082	38095		
<b>PTH</b>					
Cabedal	2	31299401	15649700	514.2	<2e-16
Residuals	600	18262225	30437		
<b>PEAP</b>					
Cabedal	2	29791	14895	28	972
Residuals	600	315112481	525187		
<b>PEAM</b>					
Cabedal	2	5.22e+05	261020	39	962
Residuals	600	4.05e+09	6750147		
<b>PETT</b>					
Cabedal	2	10989	5494	2216	<2e-16
Residuals	600	1488			
<b>Eutrofização</b>					
Cabedal	2	285.7	142.84	984	<2e-16
Residuals	600	87.1	0.15		

Tabela 23. Verificação da significância estatística

Os resultados para teste TukeyHSD para diferença das médias entre os sistemas de produto desse estudo, para as categorias que se apresentaram estatisticamente significantes no ANOVA, estão na tabela 24. Para cada comparação entre pares de sistema de produto foi observado que a hipótese nula

para a igualdade das médias pode ser descartada. Isso significa que, com exceção das categorias de impacto PEAP e PEAM, cada sistema de produto avaliado por este estudo apresenta valores de impactos estatisticamente diferentes, referentes as suas incertezas contabilizadas dentro das fronteiras consideradas. Na revisão bibliográfica desse estudo não foi encontrado trabalhos de avaliação de desempenho ambiental para produtos similares (calçados) com comparação estatística entre diferentes sistemas de produtos avaliados.

<b>Eutrofização</b>	Diferença entre médias	Mínimo	Máximo	p
Lona Reciclada-Jeans	-1.1335050	-1.2228007	-1.044209	0
PU-Jeans	0.5141592	0.4248635	0.603455	0
PU-Lona_Reciclada	1.6476642	1.5583685	1.736960	0
<b>Acidificação</b>				
Lona_Reciclada-Jeans	-4.259755	-4.495994	-4.023516	0
PU-Jeans	4.641795	4.405556	4.878034	0
PU-Lona_Reciclada	8.901550	8.665311	9.137789	0
<b>PAG</b>				
Lona_Reciclada-Jeans	-199.5497	-245.2937	-153.8056	0
PU-Jeans	1562.5041	1516.7600	1608.2482	0
PU-Lona_Reciclada	1762.0538	1716.3097	1807.7978	0
<b>PTH</b>				
Lona_Reciclada-Jeans	-549.4800	-590.3685	-508.5915	0
PU-Jeans	-359.1878	-400.0763	-318.2993	0
PU-Lona_Reciclada	190.2922	149.4037	231.1807	0
<b>PETT</b>				
Lona_Reciclada-Jeans	0.04181394	0.05348416	0.03014372	0
PU-Jeans	0.26316359	0.25149337	0.27483381	0
PU-Lona_Reciclada	0.30497753	0.29330732	0.31664775	0

Tabela 24. Verificação da significância estatística

## 6. CONCLUSÕES

Através da coleta de dados na empresa Villaget foi construído um inventário da fabricação de cabedais para calçados esportivos para três tipos de materiais diferentes, PU, lona reciclada e tecido de jeans. Esse inventário foi utilizado para avaliar e comparar a desempenho ambiental dos três cabedais através da metodologia de ACV.

O cabedal fabricado a partir de PU apresentou os maiores valores para as categorias de impacto estudadas, com exceção da categoria de toxicidade humana, em que o cabedal fabricado a partir do tecido de jeans apresentou-se mais impactante. O cabedal de lona reciclada apresentou os menores valores em todas as categorias de impacto, no entanto teve valor próximo ao do cabedal de jeans na categorias de impacto de PAG.

Através das avaliações estatísticas podemos afirmar, não podendo rejeitar a hipótese nula, que os três sistemas de produto apresentam valores estatisticamente iguais nas categorias de PEAP e PEAM. A categoria de impacto de PETT apresentou um alto coeficiente de variação, o que implica em uma possível dificuldade de comparação com outros trabalhos que possam ter esse dado para um sistema de produto semelhante. Mesmo assim, PETT apresentou significância estatística nas análises de ANOVA, assim como no teste TukethSD. Para as outras categorias de impacto, as incertezas se mostraram condizentes com o recorrente para outros estudos de ACV.

A produção/aquisição de matérias-primas para os cabedais de PU e jeans foi à etapa que mais contribuiu para os valores de emissões, para todas as categorias de impacto, nesses dois sistemas de produto. Para o cabedal de lona reciclada a etapa de produção do cabedal foi a mais impactante. Nas categorias de impacto de eutrofização e acidificação os processos de transporte tiveram valores de emissão relevante para o cabedal de PU e o de lona reciclada, basicamente devido as grandes distâncias na importação do PU e no transporte da Lona até a Villaget. Ainda para o cabedal de PU, as categorias de impacto de toxicidade humana e

ecotoxicidade terrestre também apresentam valores relevantes, devido aos processos de produção de eletricidade através da matriz energética brasileira.

Dentro do ciclo de vida considerado para o cabedal de PU, o principal processo impactante é a produção dos polímeros para a produção de PU, difenil metileno diisocianato e poliols. As emissões geradas na produção desses dois materiais são os principais responsáveis pelas emissões do cabedal de PU. Para a mitigação de impactos desse sistema de produto as alternativas seriam a exploração de outros oligômeros bases para a produção de PU, ou a diminuição de lona necessária por par, ou seja, aumentar a eficiência da etapa de corte e costura.

O desempenho ambiental do cabedal de jeans também se beneficiaria do aprimoramento da eficiência da etapa de corte e costura do cabedal, já que as suas maiores fontes de emissão são oriundas da fabricação do tecido. Os seus processos mais impactantes estão ligados com a produção/extração e queima de lenha, que vem a ser utilizada nos processos de chamuscamento do tecido. As emissões ainda podem ser rastreadas para processos de queima de combustíveis fósseis no uso de maquinário na produção/extração da madeira, transporte e queima da lenha.

O Cabedal de lona reciclada tem suas principais fontes de impactos nos processos de geração de eletricidade por hidrelétrica, que é a maior parcela na composição da matriz energética local considerada por esse estudo. No entanto, outras fontes de pouca expressão na composição da mesma matriz energética aparecem como fontes de emissões significativas, como o uso de gás natural e biomassas (soja, canola e cana principalmente) em termoelétricas. Para as categorias de impacto de acidificação e eutrofização os principais processos impactantes são os de transporte.

O cabedal de lona reciclada pode ser considerado como o sistema de produto com o melhor desempenho ambiental. Entretanto, apresentou valores parecidos com o cabedal de jeans para as emissões na categoria PAG, devido ao uso de eletricidade e a logística da matéria prima, sendo a última a mais plausível de aprimoramento para possíveis mitigações. Ainda assim, apresentou emissões na categoria de PAG cerca de 4 vezes menor do que o cabedal de PU desse estudo e 28 vezes menor do que o outro estudo utilizado para comparação.

Diante do potencial relacionado à economia circular pra os próximos anos e as perspectivas de consumo dos materiais com utilização de componentes de reuso, percebemos que o tênis de lona reciclado é uma opção viável tanto do ponto de vista de consumo como do ponto de vista ambiental.

## **7 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS**

Após estudo percebem-se outras possibilidades de estudo para dar sequência a este estudo. Citamos as seguintes possibilidades a serem estudadas:

- a) Elaborar um ACV completo do tênis;
- b) Estudar outros componentes para melhorar o desempenho ambiental do calçado;
- c) Elaborar um ACV envolvendo os aspectos sociais e econômicos do calçado;
- d) Ampliar o estudo para outras empresas do setor;
- e) Avaliar a fase de uso do calçado.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040:** Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001. 10 p.

ALBERS, K.; Canepa, p.; Miller, J. **Analyzing the Environmental Impacts of Simple Shoes:** A Life Cycle Assessment of the Supply Chain and Evaluation of End-of-Life Management Options. The Donald Bren School of Environmental Science and Management, University of California, Santa Barbara. 2008.

ALBU, R. G. The european ecolabel: advantages and perspectives for development in Romania. 5, 2012.

APICCAPS – ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS INDUSTRIAIS DE CALÇADOS, COMPONENTES, ARTIGOS DE PELE E SEUS SUCEDÂNEOS. **World footwear yearbook.** Porto Alegre: APICCAPS, 2011-2012.

ASSINTECAL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE COMPONENTES PARA COURO, CALÇADOS E ARTEFATOS. **Estudo de mercado:** quantificação dos materiais. Novo Hamburgo: Assintecal, set. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14040:** Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Brasil, 2009.

AZARI-N, R.; KIM, Y. Comparative assessment of life cycle impacts of curtain wall mullions. **Revista Elsevier, Building and Environment**, v. 48, p. 135-145, 2012.

BORCHARDT, M.; WENDT, M. H.; PEREIRA, G. M.; SELLITTO, M. A. Redesign of a component based on ecodesign practices: environmental impact and cost reduction achievements. **J. Clean. Prod.** 19, 49-57, 2011.

BRANDER, A. M. et al. Technical Paper | Electricity-specific emission factors for grid

electricity. **Ecometrica**, 1-22, 2011.

BOVEA, M. D., PÉREZ-BELIS, V. A taxonomy of ecodesign tools for intergrating environmental requirements into the product design process. *Journal of Cleaner Production*, v. 20, 2012, p. 6171.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Boletim do Monitoramento do Sistema Elétrico**, 2015. 17p.

CHANG, Y.; CHEN, H.; Francis, S. Market applications for recycled postconsumer fibers. **Family and Consumer Sciences Research Journal**, v. 27, n. 3, 1999.

CHEAH, L. et al. Manufacturing-focused emissions reductions in footwear production. **J. Clean. Prod.** 44, 18-29, 2013.

CHINA-ELECTRICITY-COUNCIL. **China Electric Power Industry Statistics Analysis**. 2010.

COLTRO, Leda. Avaliação do Ciclo de Vida-ACV. **Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão**, p. 7, 2007.

COM - EUROPEAN COMMISSION. Towards a circular economy: a zero waste programme for Europe. COM(2014)398final. Bruxelas: COM, 2014. 2014a

DUARTE, L. D. S. Conforto e durabilidade de protótipos de calças de jeans co/PET convencional e de jeans co/PET reciclado. **11o P&D Des. - Blucher Des. Proc.** 1, 11, 2014.

EUROPEAN UNION. Disponível em: <[www. http://europa.eu/](http://europa.eu/)>. Acesso em: nov. 2015.

FERREIRA, J. V. R. **Análise de ciclo de vida de produtos**. Portugal: Instituto Politécnico de Viseu, 2004. 80p.



FIKSEL, J.; WAPMAN, K. How to design for environment and minimize life cycle cost. Proc. **IEEE Int. Symp. Electron, Environ.** 75-80, 1994.

FLETCHER, K. **Sustainable fashion and textiles: design journeys.** Earthscan, Londres e Washington DC, 2008, 239 p.

FIKSEL, J. Sustainability and resilience: toward a system approach. **Sustain. Sci. Pract. and Policy** 2, 14-21, 2006.

FRASSETTO, L. L. **A indústria de calçados de São João Batista (SC):** caracterização do sistema de produção. Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

GELLERSTEDT, G. Softwood kraft lignin: Raw material for the future. **Ind. Crops Prod.** 77, 845-854, 2015.

GUIDOLIN, Silvia Maria; COSTA, Ana Cristina Rodrigues da; ROCHA, Érico Rial Pinto da. Indústria calçadista e estratégias de fortalecimento da competitividade. **BNDES Setorial, Rio de Janeiro**, n. 31, p. 147-184, 2010

GRUBER, N.; GALLOWAY, J. N. An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle. **Nature** 451, 293-296, 2008.

HERVA, M.; ÁLVAREZ, A; ROCA, E. Sustainable and safe design of footwear integrating ecological footprint and risk criteria. **J. Hazard. Mater.** 192, 1876-1881, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA - IBICT. **Desenvolvimento sustentável e avaliação do ciclo de vida.** Brasília: IBICT: CNI, 2014. Acesso em: 01 nov. 2015.

IEMI – INSTITUTO DE ESTUDOS DE MARKETING EMPRESARIAL.

ISO. ISO 14044: environmental management - life cycle assessment - requirements and guidelines. **International Organization for Standardization**, 2006.

ISO. ISO 14043, International Standard. Environmental Management, Life Cycle Assessment, Life Cycle Interpretation. 2000.

KRALISCH, D.; OTT, D.; GERICKE, D. Rules and benefits of Life Cycle Assessment in green chemical process and synthesis design: a tutorial review. *Green Chem.* 17, 123-145, 2015.

KLÖPFFER, Walter. Life cycle assessment. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 4, n. 4, p. 223-228, 1997.

Lacy, Peter, and Jakob Rutqvist. *Waste to Wealth: The Circular Economy Advantage*. Palgrave Macmillan, 2015.

LEE, M. J.; RAHIMIFARD, S. An air-based automated material recycling system for postconsumer footwear products. **Resour. Conserv. Recycl.**, 69, 90-99, 2012.

MATOS, Joaquim Filipe Vasconcelos. *Desenvolvimento de materiais têxteis com propriedades antimicrobianas para revestimento de calçado*. 2014.

MEYTHALER, Dirk et al. **Material for shoe upper**. U.S. Patent Application 13/774,844, 22 fev. 2013.

MILÀ, L.; DOMÈNECH, X.; RIERADEVALL, J.; FULLANA, P.; PUIG, R. Application of Life Cycle Assessment to footwear. **Int. J. Life Cycle Assess.** 3, 203-208, 1998.

OKAWA, Nobuo; SUZUKI, Yoshiyuki; SASAKI, Kunihiko. **Open cell polyurethane, shoes, gloves, chair**. U.S. Patent, n. 5, 518, 800, 21 maio 1996.

PEZZOLO, D. B. **Tecidos**: história, tramas, tipos e usos. São Paulo: Senac, 2007.

POLIAKOFF, M.; LEITNER, W.; STRENG, E. S. **The Twelve Principles of CO<sub>2</sub> Chemistry**. Faraday Discuss, 2015.

PORTER, Terry; MILES, Patti. CSR Longevity: Evidence from Long-Term Practices in Large Corporations. **Corporate Reputation Review**, v. 16, n. 4, p. 313-340, 2013.

PRADO, Luiz André do; BRAGA, João. **História da moda no Brasil**: das influências às autorreferências. 2. ed. São Paulo: Disal, 2011.

PUMA, 2008. **PUMAVision Sustainability Report 2007/2008**. Germany.

RAHIMIFARD, S. **Recycling of Footwear Products**. (Loughborough, 2007).

RIBEIRO, Flávio de Miranda; SILVA, G. A.. Enfoque sobre produto: uma necessária mudança de paradigma para busca do desenvolvimento sustentável. In: Global Conference: Building a Sustainable World, São Paulo. Global Conference: Building a Sustainable World, 2002.

ROKICKI, G.; PARZUCHOWSKI, P. G.; MAZUREK, M. Non-isocyanate polyurethanes: synthesis, properties, and applications. **Polym. Adv. Technol.** 26, 707-761, 2015.

SERRANO FELIPE. O guru do “mais com menos” REVISTA EXAME, Brasil, pag. 82, 17/02/2016

STAIKOS, T.; HEATH, R.; HAWORTH, B.; RAHIMIFARD, S. End-of-life management of shoes and the role of biodegradable materials. 13th **CIRP Int. Conf. Life Cycle Eng.**, 497-502, 2006.

TATÀNO, F. et al. Shoe manufacturing wastes: characterisation of properties and recovery options. **Resour. Conserv. Recycl.** 66, 66-75, 2012.

SEBRAE – Serviço de apoio Brasileiro a Micro e Pequena Empresa. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br>>.

UNEP - United Nations Environment Programme. Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products. Nairobi, 2009.

UNIDO, 2000, Wastes Generated in the Leather Footwear Industry, 14th Session of the Leather and Leather Products Industry Panel, Czech Republic.

[Online]:<https://www.unido.org/userfiles/timminsk/LeatherPanel14CTCwastes.pdf>

USEPA, 2001. U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation. LCAccess - LCA 101. 2001.

WOOLRIDGE, A. C.; WARD, G. D.; PHILLIPS, P. S.; COLLINS, M.; GANDY, S. Life cycle assessment for reuse/recycling of donated waste textiles compared to use of virgin material: an UK energy saving perspective. **Resour. Conserv. Recycl.** 46, 94-103, 2006.

ZALASIEWICZ, J.; WILLIAMS, M.; HAYWOOD, A.; ELLIS, M. The Anthropocene: a new epoch of geological time? **Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.** 369, 835-841, 2011.