

**CLARISSA CAPELAS ROMEU**

**COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DE DOIS SABONES  
COSMÉTICOS UTILIZANDO A TÉCNICA DA ACV**

São Paulo  
2013

**CLARISSA CAPELAS ROMEU**

**COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DE DOIS SABONES COSMÉTICOS UTILIZANDO A TÉCNICA DA ACV**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciência

São Paulo  
2013

**CLARISSA CAPELAS ROMEU**

**COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DE DOIS SABONES COSMÉTICOS UTILIZANDO A TÉCNICA DA ACV**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciência

Área de Concentração:  
Engenharia Química

Orientador:  
Prof. Dr. Gil Anderi da Silva

São Paulo  
2013

**Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com anuência de seu orientador.**

**São Paulo, de julho de 2013.**

**Assinatura do autor** \_\_\_\_\_

**Assinatura do orientador** \_\_\_\_\_

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Romeu, Clarissa Capelas**

**Aplicação da avaliação do ciclo de vida: um estudo de caso para sabonetes cosméticos / C. C. Romeu. – versão corr. -- São Paulo, 2013.**

**141p.**

**Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.**

**1. Ciclo de vida (Avaliação) 2. Cosméticos 3. Sabonetes  
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II. t.**

---

## EPÍGRAFE

"É do buscar e não do achar que nasce o que  
eu não conhecia."

Clarice Lispector

---

## DEDICATÓRIA

Ao meu Rodrigo, por todo amor, apoio e carinho essenciais para a finalização desse trabalho.  
Aos meus pais, que sempre incentivaram e torceram pelo meu crescimento.

---

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Gil, pela orientação e pelo incentivo na construção deste trabalho.

Ao grande amigo André pelo constante apoio, incentivo e dedicação durante a realização desse trabalho.

Aos amigos Fabien, Janice, Keyvan, Alessandro, Raquel, Adriano, João e Andreza pela ajuda prestada, pela cumplicidade e pelas dicas, que muito me auxiliaram no desenvolvimento do estudo.

Às empresas e aos profissionais entrevistados, que agregaram valor a este estudo, acreditando na relevância deste projeto e no ganho que trará para esta área do conhecimento.

Aos professores Luiz, Marcelo e Cássia pelos comentários e contribuições realizados no Exame de Qualificação.

Aos meus pais, irmãos, cunhados, avós e sobrinho pelo apoio nas horas difíceis de construção do trabalho.

Aos meus amigos, que sempre apoiaram e incentivaram o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Rodrigo, que ao longo deste trabalho sempre me motivou, incentivou e torceu pela sua conclusão.

---

## RESUMO

O crescimento da conscientização ambiental pela sociedade acarretou na necessidade de se produzir bens de consumo e serviços de maneira mais racional e harmônica com o meio ambiente e, dentro deste cenário, novas técnicas ambientais surgiram, tendo a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) obtido destaque, uma vez que ela pode ser utilizada por empresas como uma ferramenta de suporte de decisão ambiental, a partir de indicadores ambientais relevantes e caracterizando-se como uma oportunidade competitiva para diversos setores da economia. Na busca por uma oportunidade de diferenciação, destacam-se as indústrias cosméticas que possuem a necessidade de apresentar novidades e podem, com a aplicação da metodologia de ACV, desenvolver produtos mais sustentáveis. Os produtos cosméticos mais consumidos pela população são os sabonetes, barra e líquido, que podem, em seus processos de fabricação, privilegiar o uso de ingredientes de origem vegetal e utilizar o apelo de serem produtos ecologicamente corretos, porém um estudo mais detalhado de todos os seus processos, pode incluir o consumo de alguns materiais de origem não renovável e o próprio uso do sabonete, no banho, pode desclassificá-lo do apelo de ecologicamente correto. Sendo assim, neste trabalho, buscou-se a aplicação da ferramenta de ACV na gestão da cadeia de dois sabonetes cosméticos, barra e líquido, permitindo a identificação das suas etapas críticas e avaliação dos seus efeitos ambientais, realizando uma comparação ambiental entre seus resultados para a escolha de qual sabonete é menos impactante para o meio ambiente. Foi realizado um estudo de caso numa empresa cosmética fabricante dos sabonetes em barra e líquido e foram avaliados os processos de produção nos fornecedores das matérias-primas desses sabonetes, a sua etapa de uso no banho e o processo de descarte das embalagens desses sabonetes. O método RECIPE 2008 foi utilizado como metodologia de AICV e, na comparação ambiental dos dois sabonetes, foi possível concluir que o sabonete líquido possui impacto global menor que o sabonete em barra. As categorias de impacto Mudanças climáticas e Depleção fóssil foram as mais significativas para ambos os sabonetes e a Transformação da terra ou Uso do Solo foi significativa apenas para o sabonete em barra.

**Palavras-chaves:** Avaliação do Ciclo de Vida, Avaliação do Impacto Ambiental, Sabonete, Indústria Cosmética.



---

## ABSTRACT

The society's environmental awareness growth resulted in a need to produce consumer goods and services in a more rational and harmonious way with the environment and, within this scenario, new environmental techniques have emerged, and the methodology of Life Cycle Assessment (LCA) achieved prominence, since it can be used by companies as a tool for decision support environment, from environmental relevant indicators and characterized as a competitive opportunity for diverse sectors of economy. In search of an opportunity for differentiation, there are the cosmetic industries that have the need to present news and may, with the application of LCA methodology, develop more sustainable products. The cosmetic products more consumed are the soap, bar and liquid, which may in its manufacturing processes, favoring the use of plant ingredients and use the appeal of being environmentally friendly products, but a more detailed study of all its processes, may include the use of some non-renewable source materials and the use of soap in the bath, may disqualify it from the eco-friendly appeal. Therefore, in this study, sought it the application of LCA tool chain management of two cosmetic soaps, bar and liquid, allowing the identification of critical steps and their assessment of their environmental effects, performing an environmental comparison between the results for the choice of which soap is less harmful to the environment. It was conducted a case study in a cosmetic company manufacturer of bar soaps and liquid and were evaluated the production processes in the suppliers of raw materials soaps, its use in the bath step process and the packaging dispose of these soaps. Through this model, it was possible to identify the most critical stages of manufacturing processes, to observe the impact that the stage of use of cosmetic soap in the shower and compare the differentiation of impact that the type of packaging promotes in a life cycle assessment' study. The RECIPE 2008 was used as the LCIA methodology and at the environmental comparison of the two soaps, it was possible to conclude that the liquid soap had less over-all impact than the bar soap. The impact categories like Climate change and Fossil depletion were the most significant for both soaps and the Transformation of land or Land use was significant only for the bar soap.

**Keywords:** Life Cycle Assessment, Environmental Impact Assessment, Soap, Cosmetic Industry.

---

## LISTA DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| FIGURA 3.1 – ETAPAS GENÉRICAS DE CICLO DE VIDA E SUAS FRONTEIRAS (RETIRADO DE USEPA, 2001). .....   | 11  |
| FIGURA 3.2 – HISTOGRAMA DE ARTIGOS QUE CITAM ACV PUBLICADOS PELA REVISTA ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY (RETIRADO DE GUINÉE ET AL., (2011)). .....                | 13  |
| FIGURA 3.3 – FASES DA ACV (RETIRADO DE NBR 14040, ABNT, 2009A). .....   | 16  |
| FIGURA 3.4 – PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO PARA ANÁLISE DE INVENTÁRIO (RETIRADA DE PASSUELLO, 2007). .....  | 19  |
| FIGURA 3.5 – EXEMPLO DE UM FORMULÁRIO DE COLETA DE DADOS (RETIRADO DE RIBEIRO, 2009). .....   | 20  |
| FIGURA 3.6 – ELEMENTOS DA FASE DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DO CICLO DE VIDA (RETIRADA DE ABNT NBR ISO 14044, 2009B). .....   | 22  |
| FIGURA 3.7 – ELEMENTOS MANDATÓRIOS NA FASE DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO DE CICLO DE VIDA (RETIRADA DE ABNT NBR ISO 14044, 2009B). .....                                    | 24  |
| FIGURA 3.8: MODELO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA APOIO A ACV – SIMAPRO (ADAPTADO DE YOKOTE, 2003). .....   | 34  |
| FIGURA 3.9: REAÇÃO GENÉRICA DE SAPONIFICAÇÃO (RETIRADO DE RITTNER, 1995). .....   | 39  |
| FIGURA 3.10: ILUSTRAÇÃO DE UMA REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO CONTÍNUA (RETIRADO DE RITTNER, 1995). .....   | 43  |
| FIGURA 3.11: REAÇÕES GENÉRICAS PARA OBTENÇÃO DO LAURIL ÉTER SULFATO DE SÓDIO (ADAPTADO DE RITTNER, 1995). .....   | 44  |
| FIGURA 3.12: REAÇÕES PARA OBTENÇÃO DA COCOAMIDOPROPIL BETAÍNA (ADAPTADO DE OLIVEIRA ET AL., 2003). .....  | 44  |
| FIGURA 5.1 – DIAGRAMA BALANCEADO DO SABONETE EM BARRA (ELABORADO PELO AUTOR COM INFORMAÇÕES DA EMPRESA EC) .....  | 59  |
| FIGURA 5.2 – DIAGRAMA BALANCEADO DO SABONETE LÍQUIDO (ELABORADO PELO AUTOR COM INFORMAÇÕES DA EMPRESA EC). .....  | 60  |
| FIGURA 5.3: COMPARAÇÃO DOS DOIS SABONETES PELO MÉTODO RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7) – DADOS CARACTERIZADOS. ....   | 115 |
| FIGURA 5.4: COMPARAÇÃO DOS DOIS SABONETES PELO MÉTODO RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7) – DADOS NORMALIZADOS. ....   | 116 |
| FIGURA 5.5: COMPARAÇÃO DOS DOIS SABONETES PELO MÉTODO RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7) – DADOS AGREGADOS. ....  | 117 |
| FIGURA 5.6: COMPARAÇÃO DOS DOIS SABONETES PELO MÉTODO RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7) – DADOS PONDERADOS. ....   | 117 |
| FIGURA 5.7: COMPARAÇÃO DOS DOIS SABONETES PELO MÉTODO RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7) – PONTUAÇÃO ÚNICA. ....  | 118 |
| FIGURA 5.8: REPRESENTAÇÃO EM SANKEY DA CATEGORIA DE IMPACTO MUDANÇAS CLIMÁTICAS (SAÚDE HUMANA) PARA O SABONETE EM BARRA PELO MÉTODO RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7). ....  | 120 |
| FIGURA 5.9: REPRESENTAÇÃO EM SANKEY DA CATEGORIA DE IMPACTO TRANSFORMAÇÃO DA TERRA PARA O SABONETE EM BARRA PELO MÉTODO RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7). ....              | 121 |
| FIGURA 5.10: REPRESENTAÇÃO EM SANKEY DA CATEGORIA DE IMPACTO DEPLEÇÃO FÓSSIL PARA O SABONETE EM BARRA PELO MÉTODO RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7). ....                    | 122 |
| FIGURA 5.11: REPRESENTAÇÃO EM SANKEY DA CATEGORIA DE IMPACTO MUDANÇAS CLIMÁTICAS (SAÚDE HUMANA) PARA O SABONETE EM BARRA PELO MÉTODO RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7). .... | 124 |
| FIGURA 5.12: REPRESENTAÇÃO EM SANKEY DA CATEGORIA DE IMPACTO DEPLEÇÃO FÓSSIL PARA O SABONETE EM BARRA PELO MÉTODO RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7). ....                    | 125 |

---

## LISTA DE TABELAS

|  |     |
|--|-----|
| TABELA 3.1: PESOS UTILIZADOS NAS DIFERENTES ESTRUTURAS DO EI99 (RETIRADA DE GOEDKOOP E SPRIENSM, 2000).....  | 29  |
| TABELA 3.2: CATEGORIAS DE IMPACTO AVALIADAS NO MÉTODO RECIPE 2008 (RETIRADA DE GOEDKOUPE ET AL., 2010).....  | 31  |
| TABELA 3.3: COMPOSIÇÃO DOS ÓLEOS E GORDURA EM PORCENTAGEM (ADAPTADA DE RITTNER, 1995).....   | 40  |
| TABELA 4.1: SITUAÇÕES RELEVANTES PARA DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE PESQUISA (ADAPTADA DE YIN, 2005).....  | 47  |
| TABELA 4.2: CORRELAÇÕES ENTRE A NORMA ABNT NBR ISO 14040 E AS ETAPAS DE UM ESTUDO DE CASO PARA YIN (2005) (ELABORADA PELO AUTOR).....                      | 49  |
| TABELA 4.3: CORRELAÇÕES ENTRE A NORMA ABNT NBR ISO 14040 E AS ETAPAS DE UM ESTUDO DE CASO PARA YIN (2005) (CRIADA PELO AUTOR).....                         | 49  |
| TABELA 4.4: RESPONSÁVEIS DAS EMPRESAS, TIPO E DURAÇÃO DAS ENTREVISTAS REALIZADAS (ELABORADA PELO AUTOR).....   | 52  |
| TABELA 5.1: INVENTÁRIO MATRIZ DE ELETRICIDADE BRASILEIRA.....  | 62  |
| TABELA 5.2: INVENTÁRIO PETRÓLEO IMPORTADO.....   | 64  |
| TABELA 5.3: INVENTÁRIO PETRÓLEO <i>ONSHORE</i> BRASILEIRO.....   | 65  |
| TABELA 5.4: INVENTÁRIO PETRÓLEO <i>OFFSHORE</i> BRASILEIRO.....  | 65  |
| TABELA 5.5: INVENTÁRIO PETRÓLEO BRUTO BRASILEIRO.....  | 66  |
| TABELA 5.6: INVENTÁRIO PETRÓLEO BRASIL.....  | 67  |
| TABELA 5.7: INVENTÁRIO DIESEL IMPORTADO.....   | 68  |
| TABELA 5.8: INVENTÁRIO DA PRODUÇÃO NACIONAL DE DIESEL.....   | 69  |
| TABELA 5.9: INVENTÁRIO DO DIESEL BRASILEIRO.....   | 71  |
| TABELA 5.10: INVENTÁRIO DA COMBUSTÃO DO DIESEL BRASILEIRO NOS EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS.....  | 72  |
| TABELA 5.11: INVENTÁRIO DO ÓLEO BPF BRASILEIRO.....  | 73  |
| TABELA 5.12: INVENTÁRIO DA QUEIMA DO ÓLEO BPF BRASILEIRO.....  | 75  |
| TABELA 5.13: INVENTÁRIO DA GERAÇÃO DE CALOR DO ÓLEO BPF BRASILEIRO.....  | 75  |
| TABELA 5.14: INVENTÁRIO DO GÁS NATURAL BRASILEIRO.....   | 76  |
| TABELA 5.15: INVENTÁRIO DA QUEIMA DO GÁS NATURAL BRASILEIRO.....   | 77  |
| TABELA 5.16: INVENTÁRIO DA OPERAÇÃO POR BARCAÇA CENÁRIO BRASILEIRO.....  | 79  |
| TABELA 5.17: INVENTÁRIO DO TRANSPORTE POR BARCAÇA BRASILEIRO.....  | 79  |
| TABELA 5.18: INVENTÁRIO DA OPERAÇÃO DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO BRASILEIRO.....   | 80  |
| TABELA 5.19: INVENTÁRIO DA ETAPA DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO BRASILEIRO.....  | 80  |
| TABELA 5.20: INVENTÁRIO DA ETAPA DE USO DO SABONETE COSMÉTICO.....   | 82  |
| TABELA 5.21: INVENTÁRIO DA ÁGUA MODELADO PARA AS CONDIÇÕES BRASILEIRAS.....  | 82  |
| TABELA 5.22: COMPOSIÇÃO EM KG PARA A FABRICAÇÃO DE 1 KG DE SABONETE EM BARRA (ADAPTADA DE DADOS INTERNOS DA EMPRESA EC).....                               | 83  |
| TABELA 5.23: COMPOSIÇÃO EM KG DE FILME DE BOPP PARA A FABRICAÇÃO DE 1 KG DE EMBALAGEM DO SABONETE EM BARRA (ADAPTADA DE DADOS INTERNOS DA EMPRESA EC)..... | 83  |
| TABELA 5.24: INVENTÁRIO DE IRRIGAÇÃO BRASILEIRO PARA A PLANTAÇÃO DA PALMA.....   | 88  |
| TABELA 5.25: INVENTÁRIO DE CACHOS DE FRUTO BRASILEIRO PARA A PLANTAÇÃO DA PALMA.....   | 89  |
| TABELA 5.26: INVENTÁRIO DE ÓLEO DE PALMA BRASILEIRO.....   | 90  |
| TABELA 5.27: INVENTÁRIO DE ÓLEO DE PALMISTE BRASILEIRO.....  | 91  |
| TABELA 5.28: INVENTÁRIO DA SODA CÁUSTICA LÍQUIDA, 50% EM ÁGUA, POR CÉLULA DE DIAFRAGMA ADAPTADO PARA A REALIDADE BRASILEIRA.....                           | 93  |
| TABELA 5.29: INVENTÁRIO DA SODA CÁUSTICA LÍQUIDA, 50% EM ÁGUA, POR CÉLULA DE MERCÚRIO ADAPTADO PARA A REALIDADE BRASILEIRA.....                            | 93  |
| TABELA 5.30: INVENTÁRIO DA SODA CÁUSTICA LÍQUIDA, 50% EM ÁGUA, POR CÉLULAS DE MEMBRANA ADAPTADO PARA A REALIDADE BRASILEIRA.....                           | 94  |
| TABELA 5.31: INVENTÁRIO DO MIX DE PRODUÇÃO DA SODA CÁUSTICA LÍQUIDA, 50% EM ÁGUA ADAPTADO PARA A REALIDADE BRASILEIRA.....                                 | 94  |
| TABELA 5.32: INVENTÁRIO DA ÁGUA DEIONIZADA ADAPTADO PARA AS CONDIÇÕES BRASILEIRAS.....   | 95  |
| TABELA 5.33: INVENTÁRIO DO ÓXIDO DE ETILENO ADAPTADO PARA AS CONDIÇÕES BRASILEIRAS.....  | 96  |
| TABELA 5.34: INVENTÁRIO DO LAURIL ÉTER ADAPTADO PARA AS CONDIÇÕES BRASILEIRAS.....   | 97  |
| TABELA 5.35: INVENTÁRIO DO LAURIL ÉTER SULFATO DE SÓDIO (LESS).....  | 98  |
| TABELA 5.36: INVENTÁRIO DA FRAGRÂNCIA.....   | 100 |
| TABELA 5.37: INVENTÁRIO DA EXTRUSÃO DO FILME DE BOPP ADAPTADO ÀS CONDIÇÕES BRASILEIRAS.....  | 101 |
| TABELA 5.38: INVENTÁRIO DO FILME DE BOPP BRASILEIRO.....   | 101 |
| TABELA 5.39 - DISTÂNCIAS FINAIS PERCORRIDAS PELAS MATÉRIAS-PRIMAS DO SABONETE EM BARRA.....  | 103 |
| TABELA 5.40 – INVENTÁRIO DA FABRICAÇÃO DO SABONETE EM BARRA.....   | 103 |

---

|  |     |
|--|-----|
| TABELA 5.41 – INVENTÁRIO DE 1 SKU DE SABONETE EM BARRA. ....   | 104 |
| TABELA 5.42: COMPOSIÇÃO EM KG PARA A FABRICAÇÃO DE 1 KG DE SABONETE EM LÍQUIDO. ....                         | 105 |
| TABELA 5.43: COMPOSIÇÃO EM KG POLIPROPILENO PARA A FABRICAÇÃO DE 1 KG DE EMBALAGEM DO SABONETE LÍQUIDO. .... | 105 |
| TABELA 5.44: INVENTÁRIO DMAPA. ....  | 107 |
| TABELA 5.45: INVENTÁRIO COCOAMIDO PROPIL BETAÍNA. ....   | 108 |
| TABELA 5.46: INVENTÁRIO DA GLICERINA BI-DESTILADA VEGETAL. ....  | 109 |
| TABELA 5.47: INVENTÁRIO DA MOLDAGEM DE FRASCO POR INJEÇÃO. ....  | 111 |
| TABELA 5.48: INVENTÁRIO FRASCO DE PP. ....   | 111 |
| TABELA 5.49 - DISTÂNCIAS FINAIS PERCORRIDAS PELAS MATÉRIAS-PRIMAS DO SABONETE EM BARRA. ....                 | 112 |
| TABELA 5.50: INVENTÁRIO DA FABRICAÇÃO DO SABONETE LÍQUIDO. ....  | 112 |
| TABELA 5.51: INVENTÁRIO DE 1 SKU DO SABONETE LÍQUIDO. ....   | 113 |

---

## LISTA DE SIGLAS

|         |   |
|---------|---|
| ABIHPEC | ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE HIGIENE PESSOAL E COSMÉTICA             |
| ABNT    | ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS NORMAS TÉCNICAS                                     |
| ACV     | AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA  |
| ANEEL   | AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA  |
| ANP     | AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO  |
| BPF     | ÓLEO COMBUSTÍVEL DERIVADO DE PETRÓLEO   |
| CONAMA  | CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE  |
| IBICT   | INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA                    |
| ICV     | INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA   |
| ILCD    | INTERNATIONAL REFERENCE LIFE CYCLE DATA SYSTEM                                |
| ISSO    | INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION                                |
| MDIC    | MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO                         |
| mPt     | PONTOS MÉDIOS   |
| MUSD    | MONTANTE DE USO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO                                    |
| NBR     | NORMA BRASILEIRA  |
| ONU     | ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS   |
| PCI     | PODER CALORÍFICO INFERIOR   |
| RIO-92  | II CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO HUMANO |
| RIVM    | RADBOUD UNIVERSITY NIJMEGEN   |
| SACV    | SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA   |
| SETAC   | SOCIETY OF ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY                                 |
| SIMAPRO | SYSTEM FOR INTEGRATED ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF PRODUCTS                    |

---

SKU

STOCK KEEPING UNIT

UNEP

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME

---

# SUMÁRIO

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>1</b>   |
| 1.1      | CONTEXTUALIZAÇÃO.....   | 1          |
| 1.2      | JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....  | 5          |
| 1.3      | ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....   | 7          |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVOS DO TRABALHO.....</b>   | <b>8</b>   |
| <b>3</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>   | <b>9</b>   |
| 3.1      | DEFINIÇÃO DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA.....  | 9          |
| 3.2      | HISTÓRICO DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA.....  | 12         |
| 3.3      | DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA.....                       | 15         |
| 3.3.1    | <i>Definição do objetivo e escopo.....</i>  | <i>16</i>  |
| 3.3.2    | <i>Análise de inventário.....</i>   | <i>18</i>  |
| 3.3.3    | <i>Avaliação de impacto.....</i>  | <i>21</i>  |
| 3.3.4    | <i>Interpretação.....</i>   | <i>26</i>  |
| 3.4      | OS MÉTODOS DE AICV.....   | 26         |
| 3.5      | LIMITAÇÕES E INCERTEZAS.....  | 32         |
| 3.6      | RECURSOS COMPUTACIONAIS.....  | 32         |
| 3.7      | AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA EM EMPRESAS COSMÉTICAS.....                              | 34         |
| 3.8      | SABONETES COSMÉTICOS.....   | 37         |
| 3.8.1    | <i>Processo de fabricação do sabonete em barra.....</i>                             | <i>39</i>  |
| 3.8.2    | <i>Processo de fabricação do sabonete líquido.....</i>                              | <i>42</i>  |
| 3.8.3    | <i>Embalagens dos sabonetes barra e líquido.....</i>                                | <i>45</i>  |
| <b>4</b> | <b>MÉTODO DE PESQUISA.....</b>  | <b>47</b>  |
| 4.1      | DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO.....   | 49         |
| 4.2      | ANÁLISE DE INVENTÁRIO.....  | 51         |
| 4.3      | AVALIAÇÃO DE IMPACTO.....   | 53         |
| 4.4      | INTERPRETAÇÃO.....  | 54         |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS.....</b>  | <b>55</b>  |
| 5.1      | DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO.....   | 55         |
| 5.1.1    | <i>Definição da função, da unidade funcional e do fluxo de referência.....</i>      | <i>55</i>  |
| 5.1.2    | <i>Definição do sistema de produto, das suas fronteiras e dos seus limites.....</i> | <i>56</i>  |
| 5.1.3    | <i>Procedimentos de alocação.....</i>   | <i>56</i>  |
| 5.1.4    | <i>Definição da qualidade dos dados.....</i>  | <i>56</i>  |
| 5.1.5    | <i>Análise Crítica e Tipo e formato do relatório final.....</i>                     | <i>57</i>  |
| 5.2      | INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA.....  | 58         |
| 5.2.1    | <i>Energia Elétrica.....</i>  | <i>61</i>  |
| 5.2.2    | <i>Derivados de Petróleo.....</i>   | <i>63</i>  |
| 5.2.2.1  | <i>Óleo diesel.....</i>   | <i>67</i>  |
| 5.2.2.2  | <i>Óleo BPF.....</i>  | <i>73</i>  |
| 5.2.2.3  | <i>Gás Natural.....</i>   | <i>76</i>  |
| 5.2.3    | <i>Transporte.....</i>  | <i>78</i>  |
| 5.2.4    | <i>Etapa de uso do sabonete pelo consumidor.....</i>                                | <i>81</i>  |
| 5.2.5    | <i>Matérias-primas do sabonete em barra.....</i>                                    | <i>82</i>  |
| 5.2.5.1  | <i>Massa de sabonete.....</i>   | <i>84</i>  |
|          | <i>Gordura de Palma para massa de sabonete.....</i>                                 | <i>85</i>  |
|          | <i>Soda cáustica líquida, 50% em água.....</i>                                      | <i>92</i>  |
|          | <i>Água desmineralizada.....</i>  | <i>94</i>  |
| 5.2.5.2  | <i>LESS.....</i>  | <i>95</i>  |
| 5.2.5.3  | <i>Fragrância.....</i>  | <i>99</i>  |
| 5.2.5.4  | <i>Branqueador óptico, EDTA Tetrassódico, Ácido Etidrônico e B.H.T.....</i>         | <i>100</i> |
| 5.2.5.5  | <i>Filme de BOPP.....</i>   | <i>100</i> |
| 5.2.5.6  | <i>Sabonete em barra.....</i>   | <i>102</i> |
| 5.2.6    | <i>MATÉRIAS-PRIMAS DO SABONETE LÍQUIDO.....</i>                                     | <i>104</i> |
| 5.2.6.1  | <i>Cocoamido Propil Betaína.....</i>  | <i>106</i> |
| 5.2.6.2  | <i>Glicerina Bi-Destilada Vegetal.....</i>  | <i>109</i> |
| 5.2.6.3  | <i>EDTA Dissódico, Ácido Cítrico, Poliquatérnio-10 e B.H.T.....</i>                 | <i>110</i> |

---

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 5.2.6.4  | Frasco de PP .....   | 110        |
| 5.2.6.5  | Sabonete líquido .....   | 111        |
| 5.3      | AVALIAÇÃO DE IMPACTO.....  | 114        |
| 5.3.1    | <i>AICV Comparação dos sabonetes</i> .....   | 115        |
| 5.3.2    | <i>Identificação das oportunidades de melhorias no desempenho ambiental desses sabonetes</i> ..... | 119        |
| 5.4      | INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS .....   | 126        |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÕES</b> .....  | <b>128</b> |
| <b>7</b> | <b>RECOMENDAÇÕES</b> .....   | <b>130</b> |
| <b>8</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....  | <b>131</b> |
| <b>9</b> | <b>APÊNDICE A</b> .....  | <b>141</b> |



# 1 Introdução

## 1.1 Contextualização

Desde a segunda revolução industrial, a pressão exercida pelos homens sobre o ecossistema tem aumentado, surgindo a necessidade do desenvolvimento de novas técnicas de conservação, de prevenção e de mitigação ambientais.

Essas técnicas têm por objetivo a redução dos níveis de degradação ambientais recentemente observados, tais como a contaminação dos solos e das coleções d'água, poluição atmosférica e substituição indiscriminada da cobertura vegetal nativa, com a conseqüente redução dos habitats silvestres, entre outras formas de agressão ao meio ambiente (SILVA, 2002).

Essa problemática ambiental vem estimulando empresas e indivíduos a adotarem uma postura mais racional em relação as suas interações com o meio ambiente. O surgimento de políticas ambientais mais restritivas nas últimas décadas estimulou as indústrias a se adaptarem a essas novas demandas (PASSUELLO, 2007).

Segundo SILVA (2003), antes da década de 70, a grande competitividade em todos os setores da economia, em especial no setor industrial, motivou o desenvolvimento de técnicas e de metodologias para análise, controle e melhoria de processos, não contemplando as questões relacionadas ao meio ambiente e ao uso adequado de recursos naturais. Como conseqüência, observou-se o crescimento dos problemas ambientais, a escassez de materiais e vários acidentes em processos industriais com grandes impactos ao meio ambiente.

Para evitar acidentes desse tipo e preservar o meio ambiente, a partir dos anos 70, regulamentações ambientais começaram a ser desenvolvidas, conforme observado em 1972 na Conferência de Estocolmo, representando o primeiro encontro oficial de nações para debater a questão ambiental e as formas de controlar a poluição (BARBIERI, 2004).

Durante a década de 80, legislações específicas, como a Lei nº 6.938/81, que apresentou a Política Nacional do Meio Ambiente, definindo os conceitos, princípios, objetivo e instrumentos para a defesa do meio ambiente, entraram em vigor para controlar a instalação de novas indústrias e estabelecer exigências para as emissões das indústrias já instaladas. Naquela época, a proteção ambiental ainda era

vista de forma defensiva e as soluções propostas estimulavam ações corretivas, respondendo estritamente ao cumprimento dos requisitos legais (VALLE, 1996).

Na década de 90, observou-se que a preocupação com o meio ambiente ganhou uma nova dimensão. A exploração de matérias-primas escassas e não renováveis e a racionalização do uso de energia passaram a fazer parte da questão ambiental, levando a uma abordagem mais ampla e lógica desses problemas.

Foi nesse período que ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, a Rio-92, alertando que a solução dos problemas envolvendo o meio ambiente não poderia ser alcançada com ações isoladas e localizadas. Surgiu, então, a necessidade de ações integradas e sistematizadas.

A partir desse momento, impulsionadas pela competitividade, as empresas começaram a mudar seu comportamento frente à questão ambiental. Elas passaram a ver as preocupações com o meio ambiente não mais como um problema, mas sim como uma oportunidade de diferenciação (SILVA, 2003).

As organizações perceberam que as reduções do consumo de matérias-primas e de energia, por meio do aumento da eficiência de seus processos, traziam não só melhorias do ponto de vista ambiental, mas também econômico (MEINDERS; MEUFFELS, 2001).

De acordo com PASSUELO (2007), diversas empresas começaram a se preocupar com os impactos ambientais de suas atividades. Para isso, muitas fizeram uso de auditorias e avaliações ambientais para melhor entender a magnitude desses impactos.

A Bahia Sul-Produtora de Papel em Mucuri-BA, por exemplo, foi a primeira empresa a obter a certificação ISO 14.000 no Brasil. Atuando em setor altamente poluente, investiu um milhão de dólares em um projeto de sistema de gestão ambiental, levando três anos para implantá-lo. A economia anual após a certificação chegou a novecentos e vinte mil dólares (FARIA, 2000).

Outro exemplo é a empresa OPP-Química, produtora de resinas poliolefínicas, que conseguiu certificar ambientalmente quatro unidades de suas fábricas em 1996 e, em todas, obteve ganhos suficientes para compensar o investimento de cerca de dois milhões de dólares, economizando água, energia e perda de matéria-prima (FARIA, 2000).

Dessa forma, observou-se que as questões ambientais conquistaram uma posição de destaque para a contínua aceitação dos produtos de uma empresa nos mercados interno e externo. A empresa moderna vive o dilema de se adaptar ou correr o risco de perder espaços arduamente conquistados (BRAGA, 2002).

Além disso, ela nota que é responsabilidade de todos agirem de modo a minimizar e a prevenir impactos ambientais negativos sobre o meio ambiente, incluindo esse conceito em seu planejamento estratégico (GOLDEMBERG, 2003).

O desenvolvimento sustentável requer métodos e ferramentas que auxiliem na quantificação e comparação dos impactos ambientais das atividades humanas no provimento de bens e serviços para a sociedade. Esses bens e serviços podem ser resumidos pelo termo produtos, que são criados e utilizados para completar uma necessidade atual da sociedade (REBITZER, 2004).

Com o crescimento dessa consciência ecológica e preocupação com a qualidade do meio ambiente, seja por força da legislação ou pela própria conscientização, novas técnicas têm surgido para auxiliar as empresas a participarem ativamente da construção de um modelo de produção ambientalmente sustentável e economicamente viável. Assim, o desempenho ambiental dos produtos e processos tem se tornado uma questão importante (IBICT, 2005).

Além disso, de acordo com VENTURA (2009), a sociedade tem se mostrado cada vez mais preocupada com as questões ambientais, refletindo na pressão sobre as empresas em reduzir seus impactos, tanto nas fases de fabricação dos produtos como onde eles possam ser verdadeiramente significativos.

É dentro desse conceito que os métodos de avaliação de impactos ambientais têm ganhado cada vez mais destaque na sociedade atual (TAKAHASHI, 2008). Dentre eles, destaca-se a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), que permite avaliar diversos impactos ambientais durante o ciclo de vida de um produto, desde a extração da matéria-prima no ambiente até o seu descarte final (berço ao túmulo ou “*cradle to grave*”) ou até o ponto em que todos os resíduos retornam a ele (sistema “*cradle to cradle*” ou “berço ao berço”), caracterizando a avaliação de todos os ciclos produtivos.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2009a), a metodologia de ACV permite listar os fluxos de entrada e saída dos materiais e energia de um sistema de produto, mensurando os potenciais impactos desses fluxos.

Ainda segundo a ABNT, essa metodologia permite a tomada de decisões sobre oportunidades de melhoria de desempenho ambiental, comparações ambientais de produtos, sugerir mudanças tecnológicas fundamentais na produção e nos produtos, entre outras aplicações (BONEZZI, 2004).

Atualmente, essa metodologia é utilizada por empresas, instituições de pesquisa e universidades para avaliação dos seus potenciais impactos ambientais no ecossistema. Ela possui como ponto de partida o Pensamento de Ciclo de Vida, ou *Life Cycle Thinking*, para sua elaboração e avaliação.

Segundo SONNEMAN (2002), o Pensamento de Ciclo de Vida pode ser entendido como a consciência de que o bom desempenho ambiental de uma unidade da cadeia produtiva não é suficiente para garantir que a mesma tenha sua sustentabilidade garantida: essa condição será atingida apenas se a totalidade dos elos dessa cadeia apresentar desempenho ambiental adequado, promovendo a mínima geração de impactos e preocupando-se com a preservação das gerações futuras.

Observa-se um crescimento do uso do conceito de Pensamento de Ciclo de Vida pelas indústrias e pelas instituições de pesquisa, confirmando o potencial das ferramentas de avaliação de impactos ambientais que possuem esse tipo de abordagem sistêmica, sendo esse conceito muito utilizado em empresas localizadas em regiões desenvolvidas na Europa, América do Norte, Japão e Coréia. Ainda é pequeno o uso desse conceito nas pequenas e médias empresas e, menor ainda, nas empresas de países em desenvolvimento (SONNEMANN, 2005).

Dessa forma o desenvolvimento sustentável tem sido abordado pelas empresas como uma oportunidade de diferenciação e, dentro desse conceito, segundo CAPANEMA et al. (2007), tem-se destaque para as indústrias cosméticas, uma vez que elas possuem a constante necessidade de apresentar novidades e, a exploração do lado sustentável pelos seus produtos pode ser um grande diferencial para a empresa.

Em virtude do crescimento mundial do mercado de cosméticos, principalmente Brasil e China (EUROMONITOR, 2010), aumentou-se a busca por produtos cosméticos mais sustentáveis e maior conhecimento sobre seus impactos ambientais. Sendo assim, o presente trabalho propõe-se a aplicar a metodologia de ACV para dois produtos cosméticos, dentro da perspectiva de ciclo de vida.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal e Cosmético (ABIHPEC), os sabonetes são os produtos cosméticos mais consumidos e, de acordo com RIOS (2010), em 2009, essa categoria registrou crescimento em receita de 27%.

Existem atualmente no mercado dois principais tipos de sabonetes cosméticos, barra e líquido e, de acordo com MASSON (2003) e CAMPOS (2006), os sabonetes em barra são os mais consumidos pela população, porém o consumo dos sabonetes líquidos vem crescendo substancialmente nos últimos anos.

Pelo fato da fabricação desses sabonetes cosméticos poder privilegiar o uso de ingredientes de origem vegetal, muitos deles utilizam o apelo de serem produtos ecologicamente corretos e de origem renovável. Porém, considerando-se seus ciclos de vida, não se podem negligenciar os outros recursos envolvidos nesse processo de fabricação, inclusive não renováveis, desde a obtenção das matérias-primas até a etapa industrial de fabricação dos sabonetes. Neste ciclo, recursos não renováveis são consumidos como óleo diesel, óleo BPF, gás natural, fertilizantes etc.

A aplicação da ACV na gestão da cadeia de processo de produção de sabonetes cosméticos revela-se de grande potencial para a melhoria da eficiência ambiental na fabricação desses produtos, permitindo a identificação das etapas críticas do processo, avaliação dos efeitos ambientais e identificação da necessidade de pesquisa na área. Além disso, permite a identificação de processos passíveis de alteração, com a finalidade de redução de impactos negativos na concepção do produto.

Sendo assim, este trabalho propõe-se a desenvolver um estudo ambiental com o uso da ferramenta de ACV para comparar o comportamento ambiental de dois sabonetes cosméticos. Um estudo de caso será desenvolvido para o aprofundamento da técnica ACV, avaliando o desempenho ambiental destes dois tipos de sabonetes.

## **1.2 Justificativa do trabalho**

O crescimento da conscientização ambiental da sociedade acarretou a pressão da opinião pública e das organizações ambientalistas, em legislações cada vez mais severas e de normas internacionais na área de qualidade ambiental (GOLDEMBERG, 2003).

Como consequência, a necessidade de produzir bens de consumo e serviços de maneira mais racional e harmônica com o meio ambiente impulsionou a melhoria do desempenho ambiental das atividades e dos processos dos produtos comercializados.

De acordo com UDO DE HAES et al. (2002), a ACV pode ser utilizada por empresas como uma ferramenta de suporte de decisão ambiental, providenciando respostas diretas, cientificamente embasadas e usando indicadores ambientais relevantes.

A aplicação dessa metodologia pela indústria cosmética caracteriza-se como uma oportunidade competitiva para esse segmento, podendo incorporar em seus produtos avaliações ambientais como uma forma de diferenciação para o setor.

WILLERS et al. (2011) realizaram uma busca de artigos científicos publicados em periódicos e congressos brasileiros, como os anais dos Encontros Nacionais de Engenharia de Produção, Revista de Produção Online e Revista Produção, e encontraram 80 artigos que mencionaram a ACV.

Os autores citaram que apenas 17 artigos aplicaram a metodologia de ACV a um estudo de caso seguindo a norma ISO 14040. 11 desses artigos utilizaram a metodologia de ACV para avaliação do processo produtivo e 6 para comparação de materiais ou processos.

Foi possível observar nesse estudo, temas como ACV comparativa no processo produtivo de tecidos de malha (BASTOS e POSSAMAI, 2002); ACV da produção de polipropileno glicol (BAUER e MACIEL FILHO, 2004); ACV da indústria processadora de aves (ALMEIDA et al., 2008); ACV da produção de materiais cerâmicos (HANSEN, SEO e KULAY, 2010) dentre outros. Nessas bases de dados não foi possível encontrar trabalhos de ACV sobre produtos cosméticos.

Para produtos cosméticos foi possível encontrar citações sobre estudos de ACV de suas embalagens, tais como STAUDT (2008) e, como alguns cosméticos contém em sua composição, por exemplo, óleo de palma, alguns trabalhos de inventários de óleo de palma para outras finalidades, como o biodiesel, estudo de VIANNA (2006), foram encontrados. Mas não foram encontrados trabalhos brasileiros sobre o estudo de ACV de sabonetes cosméticos.

Logo, a justificativa desse trabalho dá-se pela oportunidade de verificar trabalhos de ACV já realizados para outras finalidades e aplica-los para o estudo de um produto cosmético como um todo.

### **1.3 Organização da dissertação**

Este documento está organizado em oito capítulos, incluindo este inicial (**Capítulo 1**) de contextualização e justificativa do trabalho, além desta breve explicação sobre a organização do trabalho.

No **Capítulo 2** são abordados os objetivos do trabalho.

No **Capítulo 3** será apresentado o levantamento bibliográfico que servirá para o estudo a respeito da metodologia de avaliação ambiental, a Avaliação de Ciclo de Vida, analisando seus conceitos e definições, evidenciando suas limitações e incertezas. Serão também apresentadas as indústrias de bens de consumo, a indústria cosmética e as tecnologias de processamento de sabonetes cosméticos (em barra e líquido), explorando as cadeias de seus insumos (matérias-primas e embalagens), bem como de seus produtores. A construção deste conhecimento contribuirá para a geração de subsídios na estruturação dos modelos representativos de sistemas dos produtos elencados.

No **Capítulo 4**, tem-se uma descrição do método de estudo empregado na elaboração do trabalho e seu racional de pesquisa, percorrendo as etapas de elaboração e execução de um típico estudo de caso. Foram utilizadas como referência as etapas de estudo propostas por YIN (2005), as quais contemplam: definição do tipo de projeto, preparação da coleta de dados, coleta e análise de evidências e relato do estudo de caso.

No **Capítulo 5** serão discutidos os resultados do estudo de caso, descrevendo o desenvolvimento da ACV, como: a sua definição do objetivo e escopo; o inventário de ciclo de vida; a avaliação de impacto e a interpretação dos resultados obtidos.

Nos **Capítulo 6 e 7** serão apresentadas as conclusões e as recomendações do trabalho futuros e, no **Capítulo 8** serão apresentadas as referências bibliográficas utilizadas neste documento.

Por último, tem-se o **Apêndice A**, onde está ilustrado um modelo de questionário realizado para obtenção dos dados de inventário.

## **2 Objetivos do trabalho**

Os objetivos deste trabalho são comparar o desempenho ambiental de dois sabonetes cosméticos e identificar oportunidades de melhorias no desempenho ambiental desses sabonetes.



### 3 Revisão bibliográfica

Neste capítulo são discutidos os aspectos relacionados à ACV considerados relevantes para o trabalho, seus conceitos, definições e sua metodologia de acordo com as normas ABNT NBR ISO 14040 e ABNT NBR ISO 14044 (International Organization for Standardization – ISO, 2009).

A primeira seção está dedicada para o histórico da ACV, ilustrando o passado, o presente e o possível futuro dessa metodologia. A seguinte seção é destinada a descrição da metodologia de ACV, seguida pelas suas limitações e incertezas. Em seguida são abordados os recursos computacionais para a aplicação dessa metodologia.

Posteriormente, estão apresentados os processos de fabricação dos sabonetes em barra e líquido, seguido pelo processo de fabricação das embalagens cosméticas desses dois sabonetes.

Após o estudo da metodologia de ACV e do processo de fabricação dos sabonetes, buscou-se aplicar os conceitos estudados nesse capítulo para a avaliação da proposta desse trabalho que é avaliar os aspectos e potenciais impactos ambientais do ciclo de vida dos sabonetes cosméticos em barra e líquido e, posteriormente, realizar a comparação dessa avaliação entre os dois sabonetes.

#### **3.1 Definição da Avaliação de Ciclo de Vida**

A ACV é uma técnica para avaliação dos aspectos ambientais e dos potenciais impactos associados a um produto, compreendendo etapas que vão desde a retirada das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo (berço) à disposição do produto final (túmulo) ou que retornam ao sistema produtivo (berço) (CURRAN, 1996).

De acordo com BARBIERI (2011), a representação do berço ao túmulo refere-se ao surgimento dos recursos utilizados no processo e à disposição final dos seus produtos ambientalmente mais seguros. Já a representação do berço ao berço, espera-se que esses produtos inaproveitáveis sejam mínimos e tenham uma produção mais limpa, onde materiais seguros podem retornar para o ciclo produtivo infinitas vezes, eliminando a sua etapa de descarte e ampliando o seu valor como matéria-

prima, além de priorizar o uso de energia renovável, como a solar e a eólica em todo o processo, preconizando uma abordagem mais ampla.

Todo produto ou serviço causa um impacto sobre o meio ambiente. Esse impacto pode ocorrer na extração das matérias-primas utilizadas durante o processo de fabricação, no próprio processo produtivo, na distribuição, no uso ou na disposição final.

CURRAN (1996) e CHEHEBE (1998) definem a ACV como uma técnica para determinar os potenciais impactos ambientais associados a um produto ou processo pela compilação de um inventário das intervenções ambientais relevantes em todo o ciclo de vida. É considerada a retirada das matérias-primas necessárias à produção até à disposição final no meio ambiente, avaliando os potenciais impactos ambientais dessas intervenções e considerando todos os processos que contribuem para o impacto ambiental de um produto final.

JESWIET (2003) define a ACV com um conceito mais amplo, como a Engenharia do Ciclo de Vida, com cinco linhas básicas, sendo: o projeto do produto, a fabricação do produto, a lucratividade do empreendimento, o impacto ambiental e o impacto social das atividades. Estas linhas, sendo o autor, devem ser consideradas pensando no desenvolvimento sustentável.

Essa metodologia foi desenvolvida de forma a atender às crescentes necessidades das organizações com o objetivo de visualizar os aspectos ambientais durante o desenvolvimento de produtos e em programas de melhoria ambiental, procurando atender aos anseios dos consumidores e da legislação (KUMARAN et al., 2001).

Dessa forma, BOUSTEAD (1995) afirma que a ACV, sistematicamente, identifica e avalia oportunidades para minimizar as consequências globais sobre o meio ambiente referente ao uso de recursos naturais.

Ainda segundo o mesmo autor, a utilização dessa ferramenta possibilita a saída dos limites da indústria e a realização de uma avaliação completa, considerando a análise dos efeitos de todos os aspectos ambientais em diversas categorias de impacto e definindo em que etapa da vida de um produto ocorre o maior risco ambiental.

A Figura 3.1, mostra os principais estágios de ciclo de vida que podem ser considerados em um estudo de ACV durante o ciclo de vida de um produto, desde a sua fabricação, utilização, manutenção e disposição final, incluindo aquisição de ma-

téria-prima necessária para a fabricação dos produtos e as saídas que ocorrem no estudo, como as emissões para o ar, descargas para a água e outras descargas ambientais, resíduos sólidos e coprodutos.

Ainda na figura, observam-se os usuais limites do sistema que podem ser considerados em um estudo de ACV, como a aquisição das matérias-primas, fabricação, utilização/reutilização/manutenção e reciclagem/gestão do resíduo. Esses limites direcionam, principalmente, a coleta de dados em um estudo de ACV.

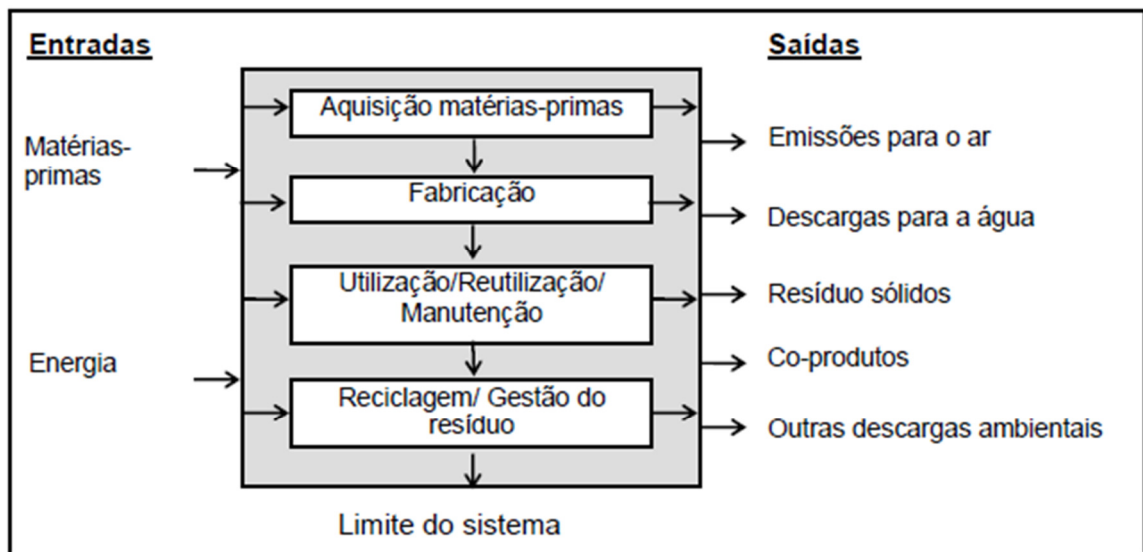


Figura 3.1 – Etapas genéricas de ciclo de vida e suas fronteiras (retirado de USEPA, 2001).

A gama de aplicação da ACV depende do objetivo e escopo do estudo. E, como algumas aplicações, podem-se citar as abordadas pela ABNT (2009a), pela *International Reference Life Cycle Data System – ILCD* (2010) e pela *United Nations Environment Programme – UNEP* (2003):

- identificar oportunidades de melhoria no desempenho ambiental de produtos em seus ciclos de vida;
- reduzir custos pela substituição ou otimização de uso de materiais;
- reduzir a geração de resíduos sólidos;
- fornecer informações detalhadas para os tomadores de decisão nas indústrias, nas organizações governamentais e não-governamentais;
- selecionar indicadores relevantes de desempenho ambiental.

Dessa forma, a UNEP (1996) afirma que nesta gama de aplicações, diversos são os usuários da ACV, sendo eles: governos, órgãos reguladores, organizações não governamentais, consumidores e, principalmente, empresas.

As aplicações empresarias da ACV, ainda para a UNEP (1996) são: melhoria do desempenho ambiental, questões de marketing, projeto de novos produtos, cumprimento de requisitos legais e regulamentações, identificação de *hotspots* e comparação de produtos.

Para esse último, comparação de produtos, ao examinar os trabalhos citados na busca de artigos científicos publicado por WILLERS et al. (2011), introduzido anteriormente, tem-se destaque para dois artigos:

- ACV comparativa da produção de alface com as técnicas intensiva, hidropônica e orgânica (GRAF E FIGUEIREDO, 1999): mostrou por meio da metodologia de ACV (CURRAN 1996) que nem sempre a melhor opção é a que possui melhor apelo ambiental, uma vez que o resultado do estudo mostrou que a produção orgânica é tão impactante quanto a intensiva e a hidropônica;
- ACV comparativa entre a chapa de aço inoxidável e a chapa de aço carbono com aplicação de autolimpante (FERREIRA e FRANK, 2000): mostrou por meio da metodologia da de ACV que a chapa de aço carbono com aplicação do autolimpante não é a melhor opção do ponto de vista ambiental, sendo, no entanto, uma configuração muito solicitada nos eletrodomésticos;

Esses artigos realizaram um estudo de ACV a partir da comparação entre dois (ou mais produtos) avaliando o desempenho ambiental de seus ciclos de vida e escolhendo, no final do estudo, qual produto exerce menor impacto no meio ambiente.

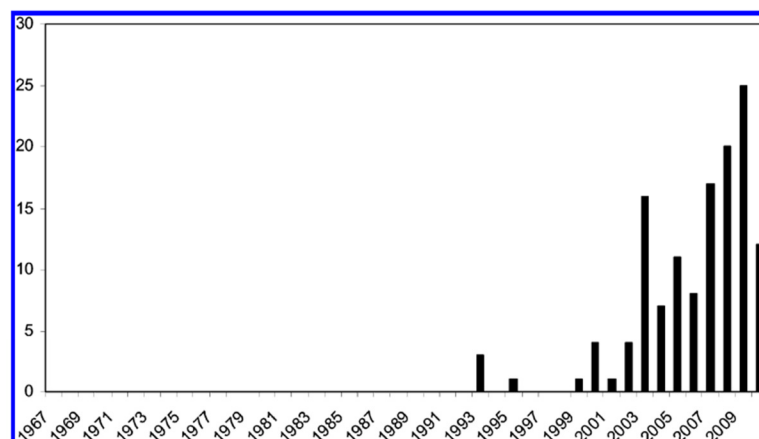
### **3.2 Histórico da Avaliação de Ciclo de Vida**

A ACV tem-se desenvolvido muito ao longo das últimas três décadas. Os primeiros estudos de ACV datam do final dos anos 60 e tinham como enfoque a análise de energia, a extração de recursos naturais e a disposição de rejeitos no meio ambiente. A avaliação de impacto de ciclo de vida e os modelos de custeio para ACV só foram iniciados nas décadas de 80 e 90, respectivamente.

No início do século XXI, outros dois novos modelos também começaram a ser utilizados, a ACV Social (proposta de estudo que avalia os impactos sociais na avaliação de ciclo de vida de um produto) e a ACV Consequencial (proposta de método que avalia consequências ambientais futuras provocadas pelo uso do produto em estudo que avalia as consequências da implementação de melhorias identificadas na avaliação de ciclo de vida), ampliando, dessa forma, o conceito ambiental e tradicional da ACV para um conceito mais abrangente.

Segundo GUINEÉ (2011), o período entre 1970 e 1990 compreendeu as décadas da concepção da ACV com abordagens amplamente divergentes, diferentes terminologias e resultados, mesmo quando os objetos do estudo eram os mesmos.

A Figura 3.2 ilustra um histograma do número de artigos publicados pela revista *Environmental Science & Technology* que citam ACV no período de 1970 a 1990. Não foi registrada nenhuma publicação científica, indicando que o assunto ficou mais restrito à aplicação em empresas para melhor fundamentar suas alegações de mercado, impedindo, dessa forma, a ACV de ter uma melhor aceitação e se tornar uma ferramenta analítica (GUINEÉ, 2011).



**Figura 3.2 – Histograma de artigos que citam ACV publicados pela revista *Environmental Science & Technology* (retirado de GUINEÉ et al., (2011)).**

A partir da década de 90, observou-se um notável crescimento das atividades científicas, assim como o acontecimento de diversos fóruns, diferentes guias e manuais técnicos produzidos. Foi nesse período também que a *Society of Environmental Science & Technology* (SETAC) iniciou um papel de liderança e coordenação para juntar usuários e cientistas com o objetivo de colaborar na melhoria contínua e harmonização da ACV (GUINEÉ, 2011).

Ao seu lado, a ISO foi envolvida na ACV em 1994. Enquanto a SETAC organizava grupos de trabalho focados no desenvolvimento e harmonização dos métodos, a ISO adotou a tarefa formal de padronização de métodos e procedimentos. Atualmente têm-se duas normas internacionais sobre ACV:

- ABNT NBR ISO 14040 (2009a): “Gestão ambiental – Avaliação de Ciclo de Vida – Princípios e enquadramento”;
- ABNT NBR ISO 14044 (2009b): “Gestão ambiental – Avaliação de Ciclo de Vida – Requisitos e orientações”.

Alguns dos métodos de ACV muito conhecidos e utilizados até hoje, como o CML 1992 e o Eco-Indicator 99, foram desenvolvidos nesse período. Ocorre nessa fase também um minucioso estudo científico sobre a pesquisa dos fundamentos da ACV, suas consequências de alocação no estudo, seu escopo etc., o que marca a transição para a presente década de ACV, que não é apenas uma década de elaboração, mas novamente de métodos divergentes.

A primeira década do século XXI tem mostrado uma crescente atenção a ACV. Em 2002, a UNEP, juntamente com a SETAC, lançou uma parceria internacional sobre ciclo de vida que ficou conhecida como a Iniciativa de Ciclo de Vida, cujo principal objetivo foi colocar o conceito de ciclo de vida em prática e melhorar as ferramentas de apoio por meio de melhores dados e indicadores.

Segundo STEEN (2005), devido a essa disseminação do método de ACV, outros métodos de avaliação de impacto também surgiram nesse período como a Avaliação Econômica de Ciclo de Vida e a Avaliação Social de Ciclo de Vida, por exemplo, o que iniciou a inserção de externalidades, como impactos econômicos e sociais, que começam a ser relevantes para um estudo de ACV, porém sem uma correta metodologia de elaboração.

De acordo com GUINÉE et al. (2011), o futuro e atual destino da ACV (2010-2020) será conhecido como a década da Sustentabilidade da Avaliação do Ciclo de Vida (SACV). Como já vem ocorrendo, a SACV amplia o atual escopo da ACV cobrindo, principalmente, os impactos nas três dimensões da sustentabilidade: pessoas, planeta e prosperidade. Esta abordagem também expande a finalidade da ACV, predominantemente relacionada com o produto ou serviço para questões relacionadas ao setor ou mesmo a economia em todos os níveis.

Os principais desafios a serem enfrentados serão a estruturação e disponibilização de uma forma prática de aplicar a ACV e disciplinar a escolha e utilização dos métodos para responder os diversos tipos de questões sobre a sustentabilidade da avaliação do ciclo de vida. Como já comentado, sabe-se que existe a necessidade de grande quantidade de pesquisa para alcançar esse objetivo, principalmente em relação à escolha da modelagem, aspectos de imprevisibilidade dos sistemas emergentes e complexos. Além disso, novas normas ISO's serão necessárias, construção de manuais relacionando as questões ambientais, econômicas e sociais com o objetivo que a próxima década 2020-2030 seja uma década novamente de convergência, onde seria muito importante o envolvimento da comunidade científica mundial e de órgãos governamentais (GUINÉE et al., 2011).

### **3.3 Descrição da Metodologia para Avaliação de Ciclo de Vida**

De acordo com as normas ABNT NBR ISO 14040 e 14044 (2009), a ACV é definida como uma técnica que avalia os aspectos ambientais e potenciais impactos associados a um produto ou processo mediante a:

- definição do objetivo e escopo, identificando o propósito do estudo e delineando os meios para atingir os seus objetivos;
- compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto;
- avaliação dos potenciais impactos ambientais associados a essas entradas e saídas;
- interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos do estudo.

A relação entre essas fases está ilustrada na Figura 3.3. A seguir, é feita uma breve descrição de cada uma dessas etapas.

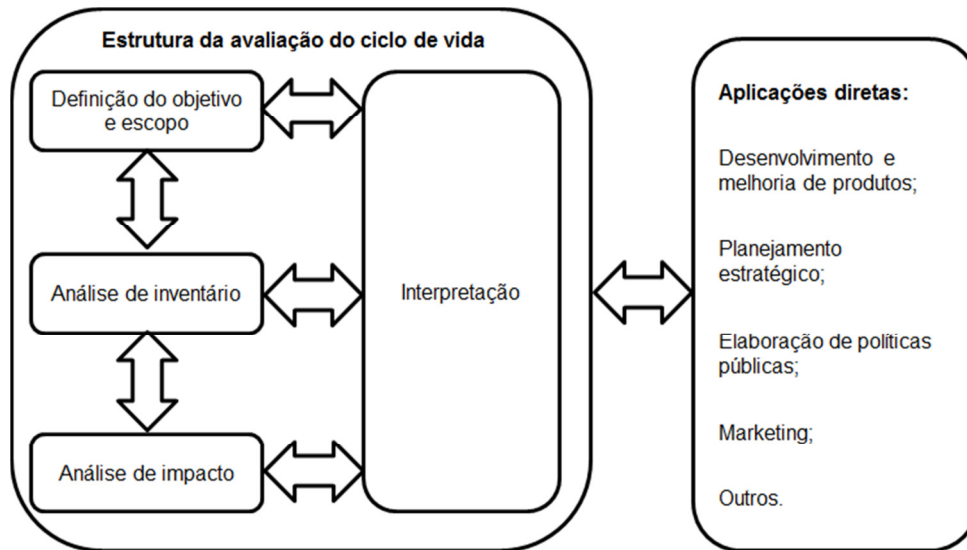


Figura 3.3 – Fases da ACV (retirado de NBR 14040, ABNT, 2009a).

### 3.3.1 Definição do objetivo e escopo

A norma ABNT NBR ISO 14040 (2009a) descreve que o objetivo de um estudo de ACV deve incluir quais são as principais razões para a realização do estudo, qual o público-alvo e se o estudo será utilizado para fins comparativos.

GIBSON (1997) afirma que o escopo delinea os meios de atingir os objetivos, representando a intenção de reproduzir métodos que suportem ou não a hipótese inicial ou, ainda, que forneça uma linha de referências para posteriores comparações. Ele deve ser bem definido para assegurar que a extensão, a profundidade e os detalhes do estudo sejam suficientes e comparáveis para atender o objetivo estabelecido e, segundo a ABNT (2009), pode ser definido pelas seguintes etapas:

- Unidade funcional: definida com base na função a que o produto se propõe a cumprir, sendo estabelecida como base de referência para os dados de entrada e saída inventariados, sendo essencial que seja mensurável;
- Fluxo de referência: mede a quantidade de produto necessário para cumprir a função expressa pela unidade funcional;
- Sistema de produto: conjunto de processos elementares com todos os fluxos de entrada e saída, desempenhando uma ou mais funções e modelando o ciclo de vida de um produto;
- Funções do sistema de produto: definição clara das características de performance do produto a ser modelado (CHEHEBE, 1998);



- Fronteiras do sistema de produto: definem as fronteiras do estudo representando a delimitação da sua abrangência, considerando diversas dimensões, como fronteira temporal, geográfica, tecnológica, de bens de capital e pessoal, em relação ao sistema natural e a outros sistemas (TILLMAN e BAUMANN, 1995);
- Limites do sistema: devem ser escolhidos de acordo com o proposto no objetivo do estudo e, de acordo com CHEHEBE (1998), esses limites determinam quais unidades de processo devem ou não ser incluídas dentro de um estudo de ACV;
- Procedimentos de alocação: são empregados quando ocorre mais do que um produto como saída principal e, segundo a norma, faz-se uma distribuição proporcional dos fluxos de entrada e saída, conforme a participação relativa de cada produto em cada unidade de processo do sistema;
- Qualidade dos dados: especifica as características dos dados necessários ao estudo, devendo abranger, segundo a ABNT (2009): cobertura temporal, idade dos dados e período de coleta; cobertura geográfica, área que os dados foram coletados; cobertura tecnológica, se o estudo se baseia na média da tecnologia empregada ou em tecnologia convencional; precisão; representatividade dos dados; consistência; reprodutibilidade; fontes dos dados e; incerteza dos dados;
- Análise crítica: verifica se os resultados, conclusões e recomendações do estudo estão coerentes com os requisitos previstos na norma de ACV;
- Tipo e formato do relatório final: segundo a norma, os resultados devem ser apresentados ao público alvo de forma fiel, completa e exata. Assumiu-se para esse presente trabalho que o formato dessa dissertação de mestrado compõe o relatório de estudo de ACV.

De acordo com OMETTO (2005), as definições do objetivo e escopo finalizam a primeira etapa do estudo, permitindo que se possa avançar para a segunda etapa, a Análise de Inventário de Ciclo de Vida.

### 3.3.2 Análise de inventário

A análise de inventário de ciclo de vida envolve a coleta de dados e os procedimentos de cálculo para a quantificação das entradas e saídas do sistema de produto, provendo uma perspectiva ampla e sistemática do ambiente e recurso para um sistema de produto (ABNT NBR ISO 14044, 2009b).

CHEHEBE (1998) afirma que a análise de inventário é a etapa do estudo que se refere à coleta de dados de entrada e saída do sistema, envolvendo recursos naturais, energia, produtos, emissões atmosféricas, resíduos sólidos e efluentes líquidos envolvidos no ciclo de vida.

Esse levantamento possibilita a identificação de limitações ou a necessidade de maiores informações para a avaliação do processo, podendo gerar mudanças nos procedimentos de coleta de dados, revisão dos objetivos ou escopo do estudo que está sendo realizado.

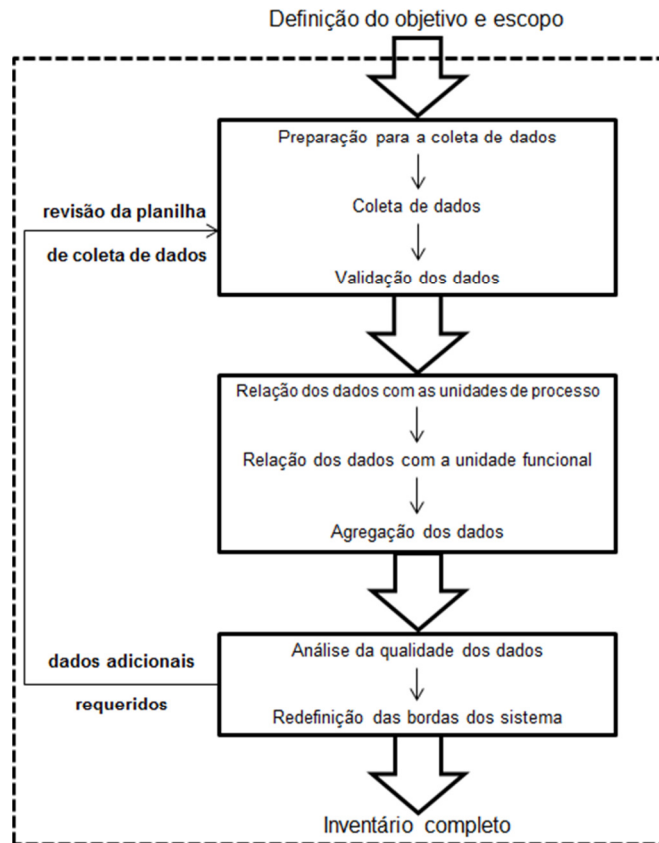
Ainda de acordo com CHEHEBE (1998), essa etapa é difícil e trabalhosa de ser executada pela possível ausência de informações conhecidas e necessidade de estimá-las.

Algumas vezes, dados de boa qualidade podem ser obtidos por meio de medições *in loco* e, são considerados dados primários. Porém, o tempo e os recursos limitados são essenciais e, quando isso não é possível, faz-se uma abordagem mais simples, com bancos de dados internacionais de ACV, normas e literaturas técnicas, caracterizando os dados secundários.

De acordo com a ABNT NBR ISO 14040 e 14044 (2009), o processo de análise de inventário é iterativo, sendo a análise altamente dependente das condições de contorno do sistema e das unidades funcionais escolhidas na definição do escopo do projeto.

À medida que se conhece mais sobre o sistema de produto e durante a etapa de coleta de dados, novas condições ou limitações para os dados podem ser identificadas, alterando sua forma de coleta e, portanto, necessitando de uma reavaliação dos objetivos e escopo.

A análise de inventário pode abordar etapas de preparação de material para coleta de dados, procedimentos de coleta propriamente ditos, validação e agregação dos dados. Na Figura 3.4, PASSUELLO (2007) propõe um esquema simplificado dessa sequência.



**Figura 3.4 – Procedimento simplificado para Análise de Inventário (retirada de PASSUELLO, 2007).**

A fase de preparação da coleta de dados para um estudo de ACV consiste na definição de quais dados serão primários e quais serão secundários, e na estruturação das planilhas de coleta de dados.

A norma ABNT NBR ISO 14044 (2009b) relata que a coleta de dados é relacionada a cada processo unitário e, de acordo com RIBEIRO (2009), pode-se fazer um formulário de coleta de dados que registra as informações detalhadas de maneira organizada, listando e quantificando os aspectos ambientais de cada processo, na forma de correntes de entrada e saída, incluindo suas unidades. A Figura 3.5 ilustra um exemplo de formulário de coleta de dados.

| PROCESSO   |                            | DATA               |              |
|--|----------------------------|--------------------|--------------|
| <b>BALANÇO DE MASSA</b>                          |                            |                    |              |
| <b>ENTRADA DE MATÉRIAS-PRIMAS</b>                |                            | <b>SAÍDAS</b>      |              |
|  |                            |                    |              |
|  |                            |                    |              |
| <b>OUTRAS ENTRADAS</b>                           |                            | <b>COMENTÁRIOS</b> |              |
| <b>ENTRADA DE ENERGIA<br/>FONTES ENERGÉTICAS</b> |                            |                    |              |
|  |                            |                    |              |
|  |                            |                    |              |
| <b>TRANSPORTE</b>                                |                            |                    |              |
| <b>ATIVIDADES DE TRANSPORTE</b>                  | <b>MEIOS DE TRANSPORTE</b> | <b>DISTÂNCIA</b>   | <b>CARGA</b> |
|  |                            |                    |              |
|  |                            |                    |              |
| <b>DADOS AMBIENTAIS</b>                          |                            |                    |              |
| <b>EMISSIONES ATMOSFÉRICAS</b>                   |                            |                    |              |
| <b>EFLUENTES LÍQUIDOS</b>                        |                            |                    |              |
| <b>RESÍDUOS SÓLIDOS</b>                          |                            |                    |              |

Figura 3.5 – Exemplo de um formulário de coleta de dados (retirado de RIBEIRO, 2009).

Para a validação dos dados, são utilizados procedimentos como comparação com parâmetros provenientes de balanços de massa e energia, com banco de dados de ACV ou com trabalhos acadêmicos do tema. Os resultados da fase de inventário são compilados para a realização da próxima fase, a avaliação do impacto.

Atualmente, não existe no Brasil um banco de dados retratando a realidade dos processos brasileiros, mas existe uma iniciativa do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT) para implementar um modelo de inventário nacional para o desenvolvimento na organização do banco de dados de produtos e serviços do país e na disseminação das informações (IBICT, 2005).

É preciso, dessa forma, muito cuidado ao utilizar um banco de dados, uma vez que esse uso pode gerar pontos de conflito na literatura. RODRIGUES et al. (2006) relatam que há uma tendência de usar dados gerados para países estrangeiros, o que pode promover erros e incertezas nos resultados e nas conclusões dos estudos nacionais.

Segundo LIMA (2007), nos países desenvolvidos como Suíça, Alemanha, Japão e Estados Unidos, existem bancos de dados de Inventários de Ciclo de Vida,

aplicáveis às condições destes países ou regiões e, nos países em desenvolvimento, essas informações ainda não estão sistematizadas.

Dentre as bases de dados existentes, destaca-se o sistema de banco de dados do *Ecoinvent* (DÜBENDORF, 2010) que, segundo FRISCHKNECHT et al. (2007), fundamenta-se na elaboração de um conjunto básico de inventários uniformes, consistentes e de qualidade, nas mais diversas áreas das atividades humanas válidas para as condições europeias e suíças, tais como materiais de construção, metais, embalagens, tecnologia de informação e comunicação, sistema de energia, materiais, energias renováveis, eletrônica, produtos químicos, engenharia mecânica, sistema de transporte, insumos agrícolas, tratamento e disposição de resíduos, confirmando sua credibilidade e aceitação de seus resultados com a validação da base de dados da sua última versão, *Ecoinvent v2*, pela Swiss TS (WEIDEMA; HISCHIER, 2011).

Ele foi desenvolvido pelo centro Suíço de ICV e sua versão 2.0 compreende a cobertura de dados de ICV para energia, transporte, materiais de construção, madeira, fibras renováveis, metais, químicos, eletrônicos, engenharia mecânica, papel e polpa, plásticos, tratamento de resíduos e produtos agrícolas (ALTHAUS et al., 2007).

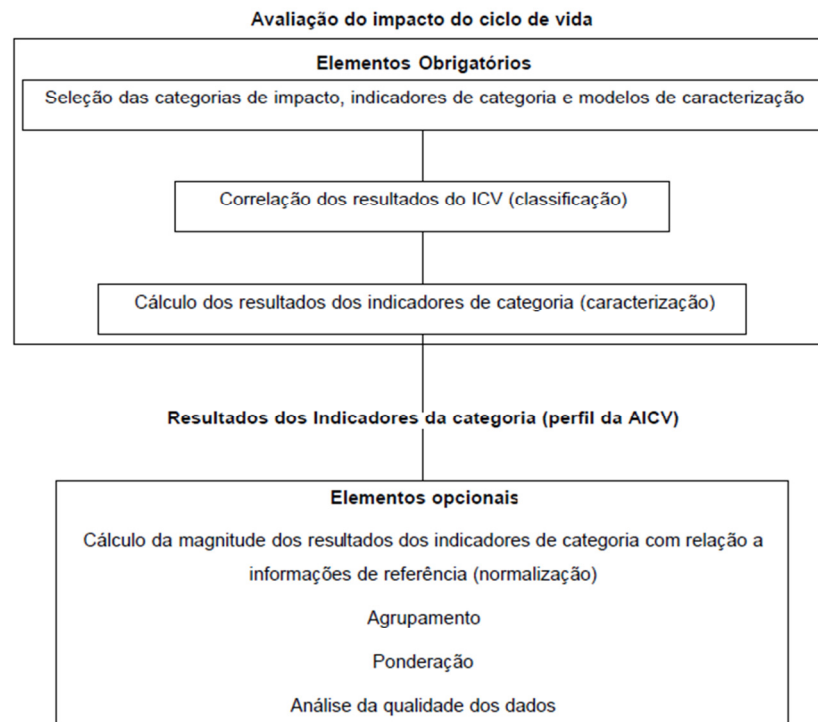
De acordo com MORETTI (2011), dentre aproximadamente quatro mil unidades de processos considerados pelo *Ecoinvent* (materiais, energia, transporte, processamento, uso, cenário de resíduos, tratamento de resíduos), há trinta e um processos elementares para o Brasil que foram considerados no *Ecoinvent v2*, dentre eles, pode-se citar: a média de energia elétrica brasileira e o biodiesel de soja produzido via rota metálica, conhecido por diesel B5, comercializado pela Petrobras a partir de janeiro de 2010.

### 3.3.3 Avaliação de impacto

A avaliação de impacto é a etapa da ACV que procura identificar, caracterizar e avaliar quantitativa e qualitativamente os potenciais impactos das intervenções ambientais identificadas na etapa de análise de inventário (CHEHEBE, 1998).

A norma ABNT NBR ISO 14044 (2009b) detalha que a etapa de avaliação de impactos possui elementos obrigatórios - seleção das categorias de impacto, classificação e caracterização – que convertem os resultados do inventário de ciclo de vida em resultados de categoria (perfil de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida,

AICV) para as diferentes categorias de impacto; e os opcionais: normalização, agrupamento e atribuição de pesos – que servem para normalizar, agrupar ou pesar os resultados do indicador, ilustrados na Figura 3.6



**Figura 3.6 – Elementos da fase de avaliação de impactos do ciclo de vida (retirada de ABNT NBR ISO 14044, 2009b).**

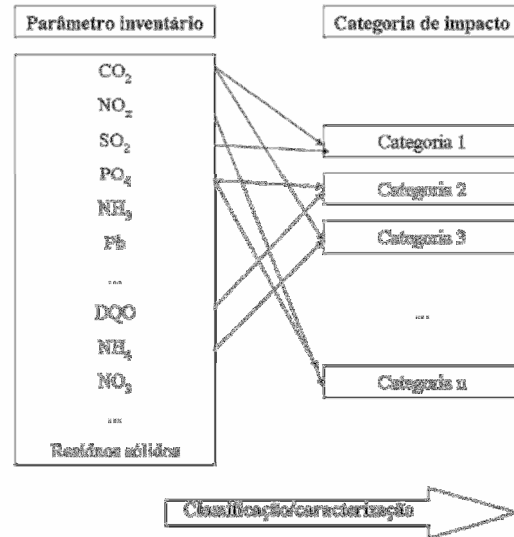
CHEHEBE (1998) defende que a seleção e a definição das categorias ambientais que são consideradas no estudo devem estar em sintonia com os objetivos e o escopo definidos no estudo.

Normalmente, essas categorias de impacto podem incluir os seguintes problemas ambientais:

- **Mudanças climáticas:** elevação da temperatura do planeta, devido a maior retenção da radiação que atinge a terra;
- **Destruição da camada de ozônio:** degradação da camada de ozônio provocando um aumento na quantidade de raios ultravioletas que chegam à Terra, interferindo na saúde humana e no ecossistema;
- **Toxicidade humana:** exposição a substâncias tóxicas através do ar, da água, do solo e, especialmente, através da cadeia alimentar;

- **Formação de oxidantes fotoquímicos ou Formação fotoquímica de ozônio:** na presença de raios ultravioletas, os óxidos de nitrogênio reagem com substâncias orgânicas voláteis, formando oxidantes fotoquímicos que provocam a formação de uma névoa tóxica;
- **Formação de partículas:** particulados orgânicos ou inorgânicos que ao serem inalados pelo homem geram efeitos nocivos à sua saúde;
- **Radiação ionizante:** contaminação por partículas radioativas advindas de recursos naturais como rocha fosfática, carvão mineral, petróleo entre outros;
- **Acidificação:** é a deposição ácida resultante das emissões de óxidos de nitrogênio e de enxofre, causando a acidez da água e do solo, provocando efeitos sobre a fauna e a flora;
- **Eutrofização da água (doce ou marinha):** o aumento de nutrientes, principalmente em meios aquáticos, provoca o crescimento populacional de microrganismos, diminuindo a taxa de oxigênio necessária aos peixes e outros organismos vivos;
- **Ecotoxicidade:** danos causados à fauna e à flora devido a substâncias tóxicas. Pode ser tanto toxicidade aquática (água doce ou marinha) como terrestre;
- **Ocupação de terras agrícolas:** transformação ambiental de terras agrícolas, como por exemplo monoculturas;
- **Ocupação do solo urbano:** ocupação do solo urbano de forma desenfreada, como por exemplo o crescimento vertiginoso da população que afeta diretamente os recursos naturais.;
- **Transformação da terra:** refere-se ao impacto ambiental gerado pela retirada da biodiversidade do local e sua respectiva ocupação para atividades humanas;
- **Esgotamento da água:** envolve a quantidade de água utilizada, relacionando principalmente o local que essa água é coletada;
- **Esgotamento de metal:** envolve a extração e utilização de minerais;
- **Depleção fóssil:** envolve a extração e utilização de combustíveis fósseis.

Após a seleção das categorias de impacto ocorrem as etapas de classificação e caracterização dos indicadores dessas categorias, conforme descrito na Figura 3.7.



**Figura 3.7 – Elementos mandatórios na fase de avaliação de impacto de ciclo de vida (retirada de ABNT NBR ISO 14044, 2009b).**

Após serem selecionadas as categorias de impacto ambiental de interesse para o estudo, parte-se para a etapa de classificação, ou seja, correlação dos aspectos ambientais nas categorias de impacto de acordo com o tipo de interferência específica (BRENTROP et al., 2001).

Essa é uma etapa qualitativa em que todas as entradas e saídas do inventário que contribuem aos impactos sobre o meio ambiente são classificadas de acordo com o tipo de problema que geram, uma vez que cada dado do inventário pode contribuir com vários tipos de problemas ambientais.

Depois da etapa de classificação, realiza-se a etapa de caracterização, em que os dados são agregados em cada uma das categorias e os impactos são convertidos ao indicador da mesma.

Esse é um passo quantitativo que analisa a contribuição relativa das múltiplas entradas e saídas de cada categoria para um determinado impacto ambiental. Deve agregar as categorias de impacto com base em fatores de equivalência, que possuam embasamento científico e sejam claros a todas as partes.

Dessa forma, ao se investigar o aquecimento global causado por uma substância, por exemplo, deve-se primeiramente expressá-la em termos de emissões de



CO<sub>2</sub> equivalente, sendo este representado pelos gases de efeito estufa: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e CFC's (CF<sub>x</sub>Cl<sub>x</sub>).

O mesmo ocorre para o impacto acidificação, em que o impacto de um determinado produto é feito em termos de SO<sub>2</sub> equivalente, sendo, este, representado pelo dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e óxido de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) (MOURAD, 2002).

No presente trabalho para a fase de AICV selecionaram-se as categorias de impacto do método RECIPE (2008) e, as características que justificaram tais escolhas são abordadas a partir da seção 2.4.

O resultado da caracterização é uma lista de impactos de difícil interpretação, especialmente quando se trata de ACV comparativa. Para facilitar o entendimento destes impactos, são realizados os elementos opcionais da norma.

Como itens não obrigatórios, tem-se:

- a normalização, que é um procedimento em que os valores determinados na etapa de caracterização são comparados com um valor de referência, determinando sua significância para cada categoria de impacto. Alguns exemplos de valores de referência são: total das emissões (ou uso de recursos) de uma determinada área (país, região etc) em um ano, ou o mesmo per capita, ou ainda um cenário de referência, elaborado a partir do uso de uma alternativa ao sistema produto avaliado;
- o agrupamento, procedimento no qual as categorias de impacto são reordenadas de acordo com seu tipo e hierarquizadas segundo os seus valores;
- a ponderação, que é o procedimento em que as categorias de impactos são ponderadas e, conseqüentemente, somadas entre si, buscando um índice ambiental único para o produto ou serviço estudado;
- e, por fim, a análise da qualidade dos dados, onde os dados devem possuir qualidade para confiabilidade (avaliação das fontes, métodos e procedimentos empregados na coleta dos dados) e representatividade (relato das propriedades estatísticas dos dados), reduzindo-se dessa forma o risco de erro na fase de interpretação e conclusões do estudo.

No presente trabalho fez-se a utilização dos itens obrigatórios da norma e suas explicações, seguida da complementação da etapa não obrigatória, normaliza-

ção, agrupamento e ponderação, o que permitiu uma melhor visualização dos impactos para cada ciclo de vida e, principalmente, da comparação entre esses ciclos de vida.

#### 3.3.4 Interpretação

A interpretação é a fase final da ACV, sendo um procedimento de identificação e análise dos resultados obtidos nas fases de inventário e/ou avaliação de impacto de acordo com o objetivo e escopo definidos, visando a alcançar conclusões e recomendações.

A conclusão final na fase de interpretação consiste em uma ou mais recomendações para melhoria, ou a recomendação de substituição por outro produto. Nessa fase, complementando a informação ambiental, outros aspectos podem ser considerados, como argumentos econômicos ou técnicos para a escolha de diferentes possibilidades de melhoria. Porém, os resultados da ACV devem ser interpretados em função do objetivo principal do estudo (ABNT, 2009).

Segundo a ABNT NBR ISO 14044 (2009b), a fase interpretação dos resultados da ACV deve conter:

- Identificação dos itens mais significativos, baseado nos resultados de inventário e avaliação de impacto;
- Avaliação que considere checagens de integridade, sensibilidade e consistência;
- Conclusões, limitações e recomendações.

### 3.4 Os métodos de AICV

SILVA (2005) relata que os métodos e os conceitos de avaliação de impactos ambientais estão constantemente em fase de desenvolvimento, ressaltando-se que, até então, nenhum acordo internacional sobre metodologias específicas encontra-se consolidado.

Dessa forma, existem alguns métodos para avaliação de impactos em diferentes estágios de desenvolvimento e não há um único aceito como mais apropriado.

Dentre os métodos, podem-se citar: LUCAS, EDIP 2003, TRACI, CML 2001, IMPACT 2002+, ECO-INDICATOR 99, RECIPE 2008, entre outros, e as principais

diferenças entre eles são as categorias de impacto consideradas, assim como alguns procedimentos de normalização, agrupamento e ponderação.

Esses métodos podem ser classificados em dois grupos (JOLLIET et al., 2003):

- Métodos clássicos: restringem a modelagem quantitativa para os estágios iniciais da cadeia de causa-efeito, para diminuir as incertezas. Esse grupo compila os resultados do Inventário de Ciclo de Vida (ICV) em categoria de pontos médios (*midpoint*), como, por exemplo, exotoxicidade e acidificação. Podem-se citar os métodos CML 2001 e EDIP 2003 com esse perfil;
- Métodos orientados ao dano: estes tentam modelar a cadeia de causa-efeito até os pontos finais, ou danos (*endpoint*), como saúde humana e qualidade do ecossistema e, por esse motivo, podem apresentar maiores incertezas. Como exemplo, tem-se o ECO-INDICATOR 99 e o RECIPE 2008.

Um dos métodos clássicos mais utilizados é o CML 2001, que foi desenvolvido no ano 2000 pelo Centro de Gestão Ambiental da Universidade de Leiden, Holanda, sendo uma atualização do método CML (1992) e um dos primeiros métodos de avaliação desenvolvido e utilizado em vários países.

Não há atribuição de pesos para esse método e, para cada problema, existem fatores de caracterização relacionados. Para cada um dos seus modelos de caracterização, pode ser efetuada a normalização para o mundo em 1990 e 1995, Europa em 1995 e Holanda em 1997 (GUINÉE et al., 2001).

Os seus modelos de caracterização recomendados são:

- Acidificação;
- Aquecimento global;
- Depleção do ozônio estratosférico;
- Depleção dos recursos abióticos;
- Ecotoxicidade aquática (água doce, marinha);
- Ecotoxicidade terrestre;
- Eutrofização;
- Formação da ozônio fotoquímico;
- Toxicidade humana.

O método orientado ao dano mais comum é o ECO-INDICATOR 99 que liga os resultados de caracterização a três categorias de dano: saúde humana, qualidade do ecossistema e recursos (GOEDKOOOP; SPRIENSMA, 2000).

A estrutura do ECO-INDICATOR 99 está baseada no conceito de eco-indicadores, que envolve a caracterização dos efeitos ambientais, avaliação dos danos ambientais sobre a saúde humana, a qualidade dos ecossistemas e degradação dos recursos naturais, a normalização e a valoração dos impactos ambientais (GOEDKOOOP, SPRIENSMA, 2001).

Nesse método, uma emissão identificada no inventário de ciclo de vida é convertida em contribuição para uma categoria de impacto a partir da sua multiplicação por um fator equivalente. Suas categorias de caracterização são:

- Aquecimento global;
- Depleção de ozônio estratosférico;
- Eco-toxicidade;
- Acidificação;
- Eutrofização;
- Carcinogênicos;
- Nevoeiro fotoquímico;
- Recursos energéticos;
- Respiração: componentes orgânicos e inorgânicos;
- Radiação;
- Uso do solo.

O ECO-INDICATOR 99 foi desenvolvido na Holanda por um grupo científico especializado em estudo de ACV e ciências ambientais, com apoio do Ministério Holandês do Meio Ambiente. Ele é caracterizado por um procedimento metodológico especialmente feito para ele, com três passos que foram desenvolvidos de forma inversa, ou seja, a partir do último passo, sendo: ponderação das categorias, cálculos dos danos que os fluxos podem causar e inventários dos fluxos e processo do ciclo de vida de um produto (GOEDKOOOP et al., 2008).

Como base de dimensão, utiliza-se o “ponto Eco-Indicator (Pt)” e o valor absoluto dos pontos não é muito relevante uma vez que o objetivo principal é comparar as diferenças relativas entre produtos ou componentes. A escala dessa

dimensão foi eleita de tal forma que 1 Pt represente 1 centésima parte da carga ambiental anual de um cidadão europeu médio (GOEDKOOOP et al., 1999).

Conforme GOEDKOOOP et al. (2001), o ECO-INDICATOR 99 considera a influência dos valores culturais na valoração dos impactos ambientais. Com base em fundamentos sociológicos, filosóficos e psicológicos, as perspectivas Individualista (I), Igualitária (E) e Hierárquica (H), fundamentadas na Teoria Cultural, são adotadas e caracterizadas por diferentes critérios e pesos para a valoração dos impactos ambientais Tabela 3.1, retratando tanto na caracterização quanto na ponderação.

**Tabela 3.1: Pesos utilizados nas diferentes estruturas do EI99 (retirada de Goedkoop e Spriensma, 2000).**

|                    | Qual. Ecossistema | Saúde Humana | Recursos |
|--------------------|-------------------|--------------|----------|
| Igualitária (E)    | 50%               | 30%          | 20%      |
| Individualista (I) | 25%               | 55%          | 20%      |
| Hierárquica (H)    | 40%               | 30%          | 30%      |
| Média (A)          | 40%               | 40%          | 20%      |

A normalização desse método considera o inventário total de massa e energia da Europa, por pessoa-ano (assumindo população de 495 milhões de pessoas) para o ano de 1993. Os pesos foram obtidos em consenso com grupos de interesse em ACV na Suíça.

A normalização também avalia a contribuição de cada impacto no dano total da categoria considerada, facilitando a interpretação, comparando diferentes categorias num mesmo gráfico, com as mesmas unidades e permitindo discutir a atribuição de pesos (HUMBERT et al., 2005).

Um dos métodos de avaliação de impacto mais novos e que atualmente tem obtido maior destaque é o RECIPE 2008, que foi desenvolvido pela RIVM, a *Radboud University Nijmegen*, o centro de pesquisa CML da Universidade de Leiden e a empresa PRé Consults.

Ele foi desenvolvido utilizando como base os métodos CML 2001 e o ECO-INDICATOR 99, promovendo, com isso, um método com melhores modelos para algumas categorias de impacto, tais como mudança climática, destruição da camada de ozônio, acidificação, eutrofização, uso da terra e esgotamento dos recursos naturais, melhorando também os fatores de caracterização para essas categorias de impacto.

Segundo Goedkoup et al. (2010), o RECIPE 2008, é o sucessor dos métodos ECO INDICATOR 99 e CML 2001. O objetivo inicial no desenvolvimento deste novo método era integrar a abordagem orientada para os problemas ambientais (do CML 2001) com a abordagem orientada para os danos (ECO INDICATOR 99).

De acordo com GOEDKOOOP et al. (2009), o RECIPE 2008 considera dois tipos de abordagem apresentando as categorias de impacto ambiental a um nível *midpoint* e outro a *endpoint*.

Segundo o autor, no nível *midpoint* as categorias de impactos são relatadas em função das unidades individuais para cada setor, obtendo-se um número elevado de categorias de impacto associados aos diversos tipos de problemas ambientais, reduzindo relativamente as incertezas dos resultados.

Ainda segundo o autor, no nível *endpoint*, os resultados são apresentados em apenas três categorias de impacto, a partir da etapa de ponderação das demais categorias para as categorias saúde humana, ecossistemas e recursos. Por conta disso, a incerteza dos resultados é consideravelmente mais elevada.

Ainda de acordo com os autores GOEDKOOOP et al. (2009), o RECIPE 2008 apresenta três perspectivas que não pretendem representar arquétipos do comportamento humano, mas apenas são utilizadas para agrupar tipos similares de pressupostos e escolhas. São elas:

- Perspectiva individualista – é uma perspectiva baseada numa visão de curto prazo, considerando tipos de impactos ambientais indiscutíveis e considerando um otimismo tecnológico quanto à capacidade para se resolver os problemas;
- Perspectiva hierárquica – é baseada nas políticas mais comuns no que diz respeito ao espaço de tempo e outras questões;
- Perspectiva igualitária – é a perspectiva que reflete uma maior precaução, considerando uma perspectiva de longo prazo e considerando impactos ambientais que ainda não se encontram completamente comprovados.

O método RECIPE 2008 considera dezoito categorias de impacto ambiental ao nível *midpoint* e três ao nível *endpoint*. Essas categorias são apresentadas na Tabela 3.2 com a indicação da sua unidade.

**Tabela 3.2: Categorias de impacto avaliadas no método RECIPE 2008 (retirada de Goedkoup et al., 2010).**

| Midpoint                           |                                    | Endpoint             |                                | Pontuação única |
|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------|
| Categoria de impacto               | Unidade                            | Categoria de impacto | Unidade                        | Unidade         |
| Mudanças climáticas                | kg CO <sub>2eq</sub>               | Saúde humana         | DALY s <sup>1</sup>            | Pt <sup>3</sup> |
| Destruição da camada de ozônio     | kg CFC <sup>11</sup> <sub>eq</sub> |                      |                                |                 |
| Toxicidade humana                  | kg 1,4-DB <sub>eq</sub>            |                      |                                |                 |
| Formação de oxidantes fotoquímicos | kg NMVOC                           |                      |                                |                 |
| Formação de partículas             | kg PM <sub>10eq</sub>              |                      |                                |                 |
| Radiação ionizante                 | kg U <sub>235eq</sub>              |                      |                                |                 |
| Acidificação terrestre             | kg SO <sub>2eq</sub>               | Ecossistema          | Anos                           |                 |
| Eutrofização de água doce          | kg P <sub>eq</sub>                 |                      |                                |                 |
| Eutrofização marinha               | kg N <sub>eq</sub>                 |                      |                                |                 |
| Ecotoxicidade terrestre            | kg 1,4-DB <sub>eq</sub>            |                      |                                |                 |
| Ecotoxicidade de água doce         | kg 1,4-DB <sub>eq</sub>            |                      |                                |                 |
| Ecotoxicidade marinha              | kg 1,4-DB <sub>eq</sub>            | Recursos naturais    | Custos excedentes <sup>2</sup> |                 |
| Ocupação de terras agrícolas       | m <sup>2</sup> a                   |                      |                                |                 |
| Ocupação do solo urbano            | m <sup>2</sup> a                   |                      |                                |                 |
| Transformação da terra             | m <sup>2</sup>                     |                      |                                |                 |
| Esgotamento da água                | m <sup>3</sup>                     |                      |                                |                 |
| Esgotamento de metal               | kg Fe <sub>eq</sub>                |                      |                                |                 |
| Depleção fóssil                    | kg oil <sub>eq</sub>               |                      |                                |                 |

<sup>1</sup>: DALY's – Disability Adjusted Life Years – que representa a combinação do número de anos de vida perdidos com o número de anos vividos com deficiência.

<sup>2</sup>: Custos excedentes – representa os custos excedentes dos recursos, durante um dado período de tempo, considerando uma inflação de 3%.

<sup>3</sup>: Pt – pontos médios

Relativamente à fase opcional de normalização, os fatores aplicados a cada categoria variam em oito das dezoito categorias consideradas pelo método RECIPE 2008.

Para as categorias ecotoxicidade marinha, ecotoxicidade de água doce, ecotoxicidade terrestre, acidificação terrestre, radiação ionizante e toxicidade humana os fatores mais elevados são para a perspectiva Igualitária e os menores para a Individualista.

Na categoria destruição da camada de ozônio os fatores mais elevados são para a perspectiva Individualista e os menores para a Hierárquica. Na categoria mudanças climáticas, os fatores mais elevados são para a perspectiva Individualista e os menores para a Igualitária.

### **3.5 Limitações e Incertezas**

HUIJBREGTS et al. (2003) afirma que uma dificuldade existente na metodologia de ACV é a grande quantidade de dados necessários para a realização de sua análise assim como a sua qualidade de dados, garantindo que as conclusões do estudo estejam certas.

A falta de um banco de dados brasileiro consistente e a falta de uma metodologia unificada dificulta tanto a análise dos resultados de ACV como a efetiva compreensão pelo público leigo.

Dentre as metodologias de avaliação ambiental existentes a ACV é a aquela capaz de incorporar uma visão integrada das soluções para os problemas ambientais e, dessa forma, avaliar uma maior quantidade de problemas ambientais de uma só vez.

Outra dificuldade encontrada na ACV é a obtenção dos inventários, uma vez que são onerosos e consomem muito tempo, em parte porque a aquisição de informações quantitativas pode exigir medições analíticas *in-loco* ou inspeções detalhadas de arquivos e registros (RIBEIRO et al., 2003).

Para JOHN et al. (2006), a base que sustenta uma ACV é o seu Inventário de Ciclo de Vida (ICV), obtido mediante a aferição quantitativa de todos os aspectos ambientais no ciclo de vida de um produto. Assim, uma das limitações básicas na condução de uma ACV acaba sendo a disponibilidade dos dados. Afinal, um ICV compreende um complexo conjunto de inventários de diversos sistemas e subsistemas técnicos (RODRIGUES et al., 2006).

Dessa forma, enquanto houver indisponibilidade de um banco de dados nacional e abrangente, é aconselhável adaptar ao máximo os dados existentes para as situações requeridas no estudo. Na adaptação de dados externos para as condições internas de estudo, como exemplos, VIANNA (2006) e GALDIANO (2006), em seus trabalhos de ICV para produtos nacionais, eles adaptaram dados da literatura internacional para as condições brasileiras, buscando, para tal situação, registros sobre a origem e condições de obtenção de tais dados e nas bases do *Ecoinvent v2*.

### **3.6 Recursos Computacionais**

Como um estudo de ACV demanda considerável esforço na obtenção dos dados, existe uma necessidade de aplicação de programas computacionais e bases



de dados públicas para dar suporte à definição do sistema, identificando e coletando dados com qualidade apropriada, além de permitir cálculos extensos (BENJAMIN, 2001).

Lembrando que as ferramentas computacionais apenas ajudam a execução de ACV, sendo indispensável que o executante do estudo conheça os procedimentos da técnica e o sistema de produto que está estudando.

Sendo assim, uma maneira de facilitar a realização de um estudo de ACV é por meio da utilização de programas computacionais especializados. Dentre os diversos tipos que existem disponíveis, escolheu-se para o presente trabalho, a utilização do *System for Integrated Environmental Assessment of Products*, SIMAPRO (GOEDKOOOP et al., 2010)..

Esse programa foi desenvolvido pela *Pre Consultants*, uma empresa holandesa de consultoria em ACV. Sua interface é simples e flexível, permitindo a visualização gráfica do sistema de produtos bem como a obtenção de gráficos a partir de dados de diferentes etapas de avaliação.

No SIMAPRO, as informações encontram-se organizadas em projetos, podendo ser incluídos diversos ciclos de vida de um ou mais produtos, cujos processos podem ser extraídos das bases de dados do SIMAPRO. Quando definido o ciclo de vida, o programa calcula a soma das diversas intervenções ambientais associadas à unidade funcional definida.

De acordo com YOKOTE (2003), quanto à estrutura dessa ferramenta computacional, ela possui uma interface gráfica, uma base de dados, um processador de informações e um mecanismo de relatório. O processador de informações é alimentado com dados primários e dados genéricos de base de dados de materiais, energia, transporte, gerenciamento de rejeitos e processos de transformação. Esse processador gera uma saída que é um inventário de ciclo de vida, que pode ser a entrada de uma ferramenta computacional para a avaliação de impacto (Figura 3.8).

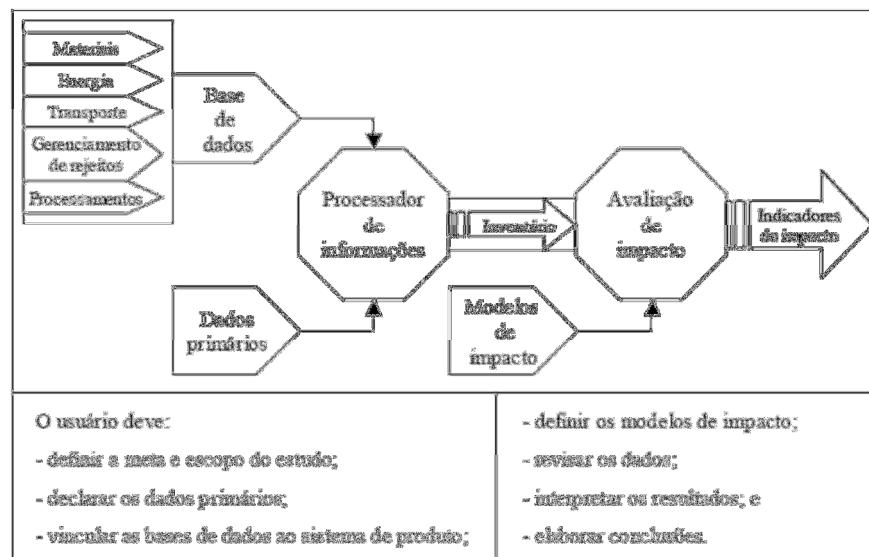


Figura 3.8: Modelo de programa computacional para apoio a ACV – SIMAPRO (adaptado de YOKOTE, 2003).

### 3.7 Avaliação do Ciclo de Vida em empresas cosméticas

De acordo com KULAY et al. (2010), ao conscientizar-se de que a produção de bens de consumo afeta de maneira adversa o suprimento de recursos naturais e a qualidade do meio ambiente, a sociedade passou a questionar firmemente o Modelo Desenvolvimentista, amplamente praticado pelo meio empresarial ao longo dos anos de 1970, como forma de satisfazer as necessidades do ser humano moderno.

Segundo MEINDERS et al. (2001), a partir da década de 90, as indústrias, de uma forma geral, começaram a mudar o seu comportamento frente à questão ambiental. Principalmente as indústrias de bens de consumo, que passaram a ver uma oportunidade de diferenciação frente às demais ao começarem a se preocupar com o meio ambiente, observando um forte potencial de exploração de marketing ao reportar para seus consumidores suas boas ações ambientais. Essas empresas também perceberam que uma simples economia ambiental, como redução e/ou otimização no consumo de energia, promove melhorias do ponto de vista econômico.

Essa preocupação empresarial com o meio ambiente busca atuar no chamado ciclo de vida de um produto, estendendo-se desde a extração de recursos naturais até a sua disposição final (KULAY et al., 2010).

Algumas empresas, preocupadas com a questão ambiental, já utilizam métodos de avaliação de impactos ambientais no ecossistema como forma de mensurar, diminuir e, em alguns casos, mitigar os impactos ambientais provocados pelas suas

atividades. Dentre elas, podem-se citar, por exemplo: Amanco, Natura, Tetra Pak, Unilever, DaimlerChrysler, Basf, Coca-Cola, Henkel e Suzano (LIMA, 2007).

Após consulta ao site dessas empresas e avaliação dos seus Relatórios de Sustentabilidade, publicados *online*, pôde-se observar que muitas delas não possuem apenas um método de avaliar seus impactos. A composição ou adaptação de diferentes modelos são escolhidos, conforme a necessidade da empresa em entender e em comunicar melhor seus impactos para seus clientes, colaboradores e para a sociedade.

Uma multinacional que utiliza a metodologia de ACV é a Tetra Pak. Na década de 90, a empresa lançou uma política ambiental mundial que é regida até hoje em todas as suas fábricas. Dentre outras premissas, essa política prevê a realização da Avaliação de Ciclo de Vida das embalagens e equipamentos da companhia visando à diminuição dos impactos ambientais (Relatório de Sustentabilidade Tetra Pak, 2010).

A empresa Suzano Papel e Celulose, em 2006, iniciou um intenso desenvolvimento do programa de ACV de seus produtos com o objetivo de direcionar ações para reduzir os impactos ambientais mais críticos e orientar as ações estratégicas da empresa (Relatório de Sustentabilidade Suzano, 2009).

Outro exemplo é a brasileira Natura, que introduziu a metodologia de ACV em 2001 para avaliação ambiental das suas embalagens, quantificando os impactos ambientais dos produtos nas fases de extração de matérias-primas, produção, uso e disposição final.

Em 2008, a empresa continuou a sua evolução positiva de diminuição dos impactos ambientais relativos às embalagens, mensurados pelo indicador de ACV por quilograma de produto faturado (Relatório de Sustentabilidade Natura, 2010) com o foco em suas embalagens.

Observa-se que essas três empresas fazem uso da metodologia de ACV como forma de gestão ambiental de alguns de seus processos, visando à redução do impacto ambiental dessas atividades.

A aplicação dessa metodologia pelas empresas mostra que ela pode ser utilizada como uma ferramenta de suporte de decisão ambiental, providenciando respostas e usando indicadores ambientais relevantes (UDO DE HAES et al., 2002), bastando para isso a empresa exercer algum impacto ambiental no meio ambiente.

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), define-se impacto ambiental como “qualquer alteração das propriedades física, química e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas (...)”.

É dentro desse conceito que se pode inserir a indústria cosmética, sendo o seu processo industrial dividido em três principais etapas: consumo de recursos, seus processamentos e geração de produtos, observando que em cada uma dessas etapas, ocorrem consequências ao meio ambiente (MORAIS, 2012).

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal e Cosmético, a ABIHPEC (2010), a principal matéria-prima utilizada no setor cosmético é a água, que está presente na produção dos produtos, na limpeza e na sanitização de equipamentos e tubulações e, nos sistemas de geração de vapor e resfriamento

Ainda segundo a ABIHPEC (2010), é possível identificar a produção de resíduos e o consumo de energia em todas as etapas do processo produtivo de um cosmético, sendo o maior componente de resíduos representado pelos resíduos de embalagens.

A grande variedade de potes, frascos, caixas entre outros, pode causar sérios danos ambientais devido ao potencial de contaminação de solos e águas apresentados por eles.

Segundo GALEMBECK et al. (2009), a indústria de cosméticos é extremamente importante dentro da economia de grande parte dos países desenvolvidos, dentre os quais inclui-se o Brasil. Atualmente, o mercado brasileiro de cosméticos vive um momento de franca expansão e se democratiza entre os consumidores de todas as classes.

As classes A e B começam a perceber que é possível encontrar produtos brasileiros de qualidade enquanto as classes C, D e E passam a poder se preocupar e gastar mais com a beleza e o bem-estar, deixando de ser vistos como futilidades e passando a ser importantes tanto na busca pelo sucesso profissional quanto pessoal.

Essas mudanças no comportamento do consumidor brasileiro vêm aumentando o acesso ao mundo dos cosméticos por milhares de pessoas e, com isso, a sociedade vem exigindo a adoção de tecnologias de produção mais limpas, econô-

micas e ambientais que, por sua vez, incentivam estudantes, professores e pesquisadores do meio acadêmico e da iniciativa privada na busca por ingredientes diferenciados, naturais e de processos de formulação inovadores e competitivos (GALLEMBECK et al., 2009).

Os principais produtos cosméticos podem ser classificados como: shampoos, condicionadores, sabonetes, hidratantes faciais, hidratantes corporais e maquiagens. Como já abordado, o sabonete em barra é o cosmético mais consumido pelo público brasileiro e foi observado um crescimento significativo do consumo de sabonetes líquidos no Brasil.

Sendo assim, eles foram escolhidos como exemplo de produtos que serão avaliados ambientalmente pela metodologia de avaliação de ciclo de vida.

### **3.8 Sabonetes cosméticos**

O sabonete é hoje um dos principais elementos de higiene pessoal do mundo, sendo o cosmético mais tradicional e comprovado de limpeza pessoal. Atualmente, ele pode ser encontrado em diferentes formas: em barra (sua forma mais comum), líquido, em gel para banho, bifásico (duas fases), entre outros (ABIHPEC, 2011).

Segundo SOUSA et al. (2005), a história do sabão é bastante antiga e não se sabe ao certo suas origens. Provavelmente, esse artefato foi inicialmente fruto do contato da gordura animal com cinzas em fogueiras ou altares de sacrifício ancestrais. Nesses artefatos, o coalho branco formado sobre as cinzas era utilizado para lavar roupas e utensílios domésticos.

Entretanto, as primeiras referências históricas ao sabão manufaturado são relacionadas às ruínas de Pompéia e, ao que tudo indica, os romanos não o empregavam somente para a limpeza. Grande parte era misturada com aromatizantes para cabelos ou cosméticos e adicionada aos emplastros usados em queimaduras e ferimentos (BARBOSA et al., 1995).

De fato, o processo químico da formação do sabão só foi mais bem compreendido com o avanço da química e da descoberta da composição das gorduras naturais. Nesse momento, pôde-se esclarecer que a gordura entra em contato com uma base, o hidróxido de potássio existente na cinza e, na presença de água, sofre um processo conhecido como saponificação, resultando em um sal de ácido carboxílico e glicerol (VERANI et al., 2000).

Além de seu uso tradicional, por muito tempo, os sabões obtidos a partir de gorduras animais também foram utilizados como base para produtos cosméticos. No entanto, com o surgimento de uma química mais refinada, vários produtos foram elaborados e testados com o intuito de se obter um material com características mais brandas e mais adequadas, visando tanto às aplicações convencionais quanto às cosméticas. Surgiram, assim, os detergentes, os substitutos sintéticos do sabão e genericamente chamados de tensoativos (GUY, 1999).

O primeiro tensoativo sintético foi produzido na Alemanha em 1916, a partir do naftaleno, álcool isopropílico e ácido sulfúrico. E, apesar dele reduzir a tensão superficial da água, característica esperada de um tensoativo, e sua ação como agente de limpeza foi bastante insatisfatória.

A existência desses novos agentes tensoativos permitiu a síntese e a fabricação de uma enorme gama de novos produtos com propriedades muito mais específicas em diversos setores de mercado.

Apesar de o tensoativo ser a principal matéria-prima de um detergente, muitas outras substâncias podem ser adicionadas em sua fabricação, fornecendo-lhe características especiais. Dentre elas, pode-se citar a incorporação de alguns ativos que podem ser benéficos à pele, característica essa limitada aos sabonetes líquidos (MOTTA, 2007).

Os sabonetes em barra ainda são os mais consumidos no Brasil. Segundo a ABIHPEC, são consumidas 218 mil toneladas de sabonetes em barra e 4,8 mil toneladas de sabonetes líquidos. Seja qual for o estilo do sabonete, durante o banho, sua principal função é limpar a pele, removendo as impurezas e eliminando os resíduos (MOTTA, 2007).

De acordo com a ABIHPEC, a principal diferença no processo de fabricação dos sabonetes líquidos e em barra está na base: para os sabonetes em barra, a base é obtida por meio da reação de gorduras vegetais ou animais com soda cáustica e, após esse processo, são adicionados preservativos, corantes e, então, o produto é prensado.

Já para o processo de fabricação dos sabonetes líquidos, a base é obtida em uma única etapa por meio da mistura de surfactantes com preservativos, emolientes, corantes, hidratantes e perfumes (MARQUES, 2010).

### 3.8.1 Processo de fabricação do sabonete em barra

A primeira etapa da fabricação de um sabonete em barra envolve a preparação de uma massa base para sabonetes, conhecida comercialmente como *noodle*, que será a parte principal da composição de um sabonete em barra.

De acordo com RITTNER (1995), essa massa de sabonete (sabão) constitui um tensoativo aniônico, com a característica de possuir em suas moléculas uma parte polar aniônica (hidrofílica) e outra parte apolar hidrofóbica, comum a todos os tensoativos e, quando em solução aquosa, possui uma carga negativa em sua porção hidrofílica, por isso caracterizado como aniônico. A fabricação desse tipo de sabão possui baixo custo, porém seu desempenho é baixo em espuma e pode ser suscetível à dureza da água que será utilizado.

A fabricação da massa base para sabonetes é obtida pelo processo de saponificação, em que ocorre a reação da matéria-prima de gordura vegetal ou animal, que são compostas de ácido graxo, juntamente com um agente que cause sua saponificação, podendo, esse agente, ser a barrilha (carbonato de sódio) ou a soda (hidróxido de sódio) em meio aquoso e a alta temperatura.

Posteriormente, é adicionado cloreto de sódio, que auxilia na separação da solução em duas fases: uma superior, o sabão, e uma inferior, formada por glicerina (também produto da reação), por impurezas e por um possível excesso de soda ou barrilha, conforme pode ser observado na Figura 3.9: .

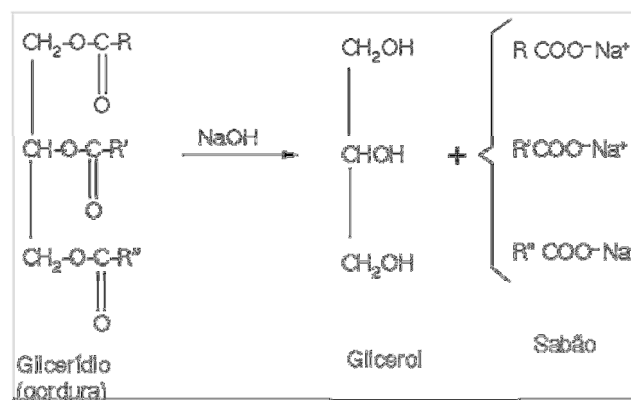


Figura 3.9: Reação genérica de saponificação (retirado de Rittner, 1995).

No sabão, o grupo polar da molécula é representado pela parte COONa e a parte não polar pelo radical R, que é usualmente uma cadeia de carbono linear e com quantidade variável de átomos de carbono.

O grupo polar é o mesmo em todos os sabões, de modo que o radical R é o responsável pelas diferentes propriedades dos diversos tipos de sabões. Os triglicérides mais utilizados na fabricação dos sabões são: sebo animal, óleo de coco e óleo de palma, cuja composição típica de ácidos graxos é mostrada na Tabela 3.3.

**Tabela 3.3: Composição dos óleos e gordura em porcentagem (adaptada de Rittner, 1995).**

| Ácido graxo                 | Ponto de fusão | Óleo de palmiste | Óleo de coco | Sebo de boi | Gordura de porco | Óleo de palma |
|-----------------------------|----------------|------------------|--------------|-------------|------------------|---------------|
| Caprílico $C_8H_{16}O_2$    | 16 °C          | 3-4              | 5,5-9,5      | -           | -                | -             |
| Cáprico $C_{10}H_{20}O_2$   | 31,5 °C        | 3-7              | 4,5-9,5      | -           | -                | -             |
| Láurico $C_{12}H_{24}O_2$   | 48 °C          | 46-52            | 44-52        | -           | -                | -             |
| Mirístico $C_{14}H_{28}O_2$ | 57 °C          | 14-17            | 13-19        | 5           | 1                | 1,5-2,5       |
| Palmítico $C_{16}H_{32}O_2$ | 64 °C          | 6,5-9            | 7,5-10,5     | 30          | 30               | 40-46         |
| Estearico $C_{18}H_{36}O_2$ | 69 °C          | 1-2,5            | 1-3          | 15-25       | 12               | 3,6-4,7       |
| Oleico $C_{18}H_{34}O_2$    | 14 °C          | 13-19            | 5-8          | 40-50       | 48               | 39-45         |
| Linoleico $C_{18}H_{32}O_2$ | -11 °C         | 0,5-2            | 1,5-2,5      | -           | -                | -             |

É muito importante a combinação de óleos e gorduras para a obtenção da melhor mistura de ácidos graxos, uma vez que cada tipo de óleo e gordura apresenta propriedades características, como:

- ácido graxo saturado láurico e mirístico: propriedade de dureza, maior eficácia na limpeza e espuma abundante;
- ácidos graxos saturados estearico e palmítico: propriedade de dureza e estabilidade da espuma;
- ácidos graxos saturados oleico e linoleico: propriedade de condicionamento.

Em outras palavras, quanto melhor a combinação dos óleos e/ou gorduras, identificando sua composição (ácidos graxo) para a fabricação de um sabonete em barra, melhor será o desempenho desse sabonete no seu uso destinado (RITTNER, 1995).

Dessa forma, obtém-se a massa base que servirá como ingrediente principal na composição de um sabonete. Essa massa base, naturalmente, tem uma coloração que vai do amarelo claro até o marrom escuro, dependendo da matéria-prima que foi utilizada. Pode-se reduzir essa cor natural utilizando-se um agente clareador conhecido como hipoclorito de sódio (MERCADANTE, 2009).



De acordo com MOTTA (2007), com a massa base para sabonetes pronta, é possível adicionar outras matérias-primas importantes para a composição final de um sabonete em barra, como:

- tensoativo anfótero: esse tensoativo é utilizado como co-tensoativo para aumento do poder de espumação do sabonete em barra. Ele possui dois grupos funcionais com caráter aniônico e catiônico, comportando-se como aniônico em meio básico e catiônico em meio ácido;
- agente sequestrante: substância que complexa íons metálicos (Ca, Cálcio; Fe, Ferro; Mg, Manganês e; Cu, Cobre), inativando-os e impedindo sua ação danosa sobre a formulação;
- antioxidantes: impedem a rancificação do óleo e/ou gordura utilizado na fabricação do sabonete em barra;
- conservantes: aditivos antimicrobianos e antibacterianos que inativam a contaminação por fungos, bactérias e outros agentes patogênicos na formulação preparada;
- fragrância: para mascarar o odor característico de gordura presente na massa do sabonete em barra e perfumar o consumidor quando utilizar o produto;
- corante: efeito lúdico acrescido ao produto final a fim de unicamente colorir o sabonete.

Para a obtenção do sabonete em barra, a primeira etapa já descrita foi a etapa da obtenção da massa do sabonete, por meio da reação de saponificação. A próxima etapa é a de mistura de ingredientes (massa de sabonete, aditivos, conservantes, corantes, fragrância etc.) que acontece por meio de diversos processos, sendo o principal deles o de amalgamação.

Tal processo nada mais é que um amassamento do sabonete, com o objetivo de obter a mistura mais homogênea possível, por meio de uma máquina chamada Sigma com duas ou três hélices em forma de “S” girando em sentidos contrários e amassando a base de sabonete até obter homogeneidade (SPITZ, 2004).

Após o processo de mistura de ingredientes, acontece a extrusão da base do sabonete que ocorre por meio de um transportador helicoidal de geometria adequada, composto em seu final por um cone e um bocal de moldagem, no qual o sabonete sairá em um formato adequado para ser estampado (SPITZ, 2004).

A estampagem é o último processo da fabricação do sabonete em barra e promove a sua forma final, efetuando impressões sobre sua superfície. A base extrudada é cortada em tamanhos pré-definidos e é feita a estampagem em formatos determinados por moldes, sendo o objetivo proporcionar beleza no formato do sabonete (SPITZ, 2004),

### 3.8.2 Processo de fabricação do sabonete líquido

Segundo MOTTA (2007), a primeira etapa de fabricação do sabonete líquido consiste na produção dos tensoativos primários e secundários que são os principais componentes da sua formulação. Diferentemente do processo de fabricação dos sabonetes em barra, os sabonetes líquidos são obtidos a partir, principalmente, da mistura de água com tensoativos.

Estes tensoativos podem ser aniônicos, que normalmente possuem boa capacidade de limpeza; não iônicos, que podem contribuir na formação de mais espuma; catiônicos que promovem um efeito condicionante; e anfóteros, os quais possuem uma notável compatibilidade com a pele. A combinação desses tensoativos juntamente com a água constitui a base principal de um sabonete líquido (MOTTA, 2007).

Segundo RITTNER (1995), a maioria dos tensoativos utilizados para a fabricação dos sabonetes líquidos é de origem sintética e, usualmente, são utilizadas misturas desses tensoativos, uma vez que a ação detergente dessa combinação pode ser superior à soma das ações tensoativas individuais, a chamada sinergia. Este fato é aproveitado para que, por meio de combinações adequadas, características desejáveis como, detergência e espuma, sejam alcançadas.

Os primeiros tensoativos sintéticos de aplicação geral foram desenvolvidos na Alemanha, durante a Primeira Guerra Mundial, na tentativa de superar a falta de matérias-primas naturais (óleos e gorduras animais e vegetais). Eram representados por alquilnaftaleno sulfonatos de cadeias curtas preparados pela reação de n-propanol ou n-butanol com naftaleno, seguido de sulfonação e neutralização. Esses produtos não se mostravam bons detergentes, mas apresentavam bom poder umectante, sendo ainda hoje utilizados para este fim.

Entretanto, em meados dos anos 60, esses tensoativos foram reconhecidos como um agente altamente poluidor dos rios. Dessa forma, novas pesquisas foram conduzidas, levando ao desenvolvimento dos chamados tensoativos biodegradáveis

(compostos químicos que podem ser degradados pela ação de microorganismos). Como exemplo, pode-se citar o alquilnaftaleno sulfonato com estrutura química modificada para cadeia lateral linear (RITTNER, 1995).

Ainda de acordo com RITTNER (1995), com o passar dos anos, observou-se que um aspecto importante para a biodegradabilidade é a não ramificação da molécula do tensoativo, uma vez que a sua linearidade facilita a degradação da molécula pelos microorganismos. Sendo assim, outros tensoativos foram surgindo e, o principal, mais utilizado atualmente em formulações de sabonetes líquidos, é o lauril éter sulfato de sódio, o qual pode ser de origem petroquímica ou vegetal, e caracteriza-se por ser um surfactante aniônico com alto poder de limpeza.

O lauril éter sulfato de sódio tem a sua origem no óleo de palmiste, obtido a partir da semente do fruto da palma. Trata-se de um óleo composto principalmente por triglicerídeos de ácido láurico (cadeias com 12 carbonos – cerca de 50% em massa) e de triglicerídeos de ácido estearílico (18 carbonos – cerca de 25% em massa). Por meio da rota oleoquímica, as cadeias graxas são extraídas dos triglicerídeos, obtendo-se os álcoois e/ou os ácidos graxos (RITTNER, 1995).

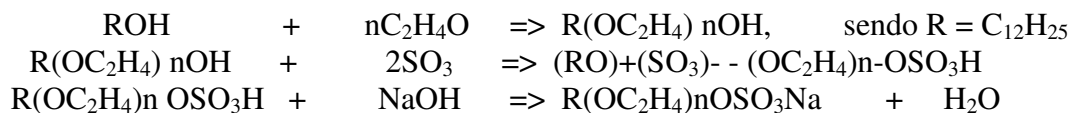
Para o processo de obtenção do álcoois graxos de palmiste, parte da extração do óleo é submetida a uma reação de transesterificação contínua com metanol e hidrogênio (Figura 3.10 com o Triglicerídeo representando o óleo de palmiste, o Álcool representando o metanol e o Catalisador o hidrogênio), seguida por uma reação de destilação para separação das cadeias de álcoois láurico, estearílico, palmítico, caprílico etc. também conhecidos como gliceróis (RITTNER, 1995).



**Figura 3.10: Ilustração de uma reação de transesterificação contínua (retirado de Rittner, 1995).**

E, de acordo com RITTNER (1995), para a obtenção do lauril éter sulfato de sódio, ocorre a reação de etoxilação do álcool láurico com o óxido de etileno, segui-

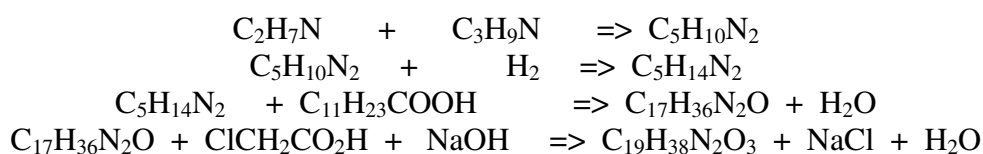
da das reações de sulfonação e neutralização com enxofre, soda e água (Figura 3.11).



**Figura 3.11: Reações genéricas para obtenção do lauril éter sulfato de sódio (adaptado de Rittner, 1995).**

Segundo MOTTA (2007), outro tensoativo muito comum na fabricação de um sabonete líquido é a Cocoamidopropil betaína, que é um surfactante anfótero muito utilizado pela indústria cosmética, sendo derivada da conjugação de ácidos graxos de coco com a aminopropil betaína, determinando boa formação e estabilidade da espuma com excelentes propriedades umidificantes. Esse tensoativo é compatível com surfactantes aniônicos, catiônicos e não iônicos.

A Figura 3.12 ilustra os principais produtos das reações de obtenção da Coamidopropil Betaína, sendo a primeira reação entre a dimetilamina e a acrilonitrila para a obtenção da dimetilamina propilnitrila, seguida pela sua hidrogenação e obtenção da dimetilamina propilamina (DMPA) (OLIVEIRA et al., 2003).



**Figura 3.12: Reações para obtenção da Cocoamidopropil Betaína (adaptado de Oliveira et al., 2003).**

De acordo com OLIVEIRA et al. (2003), essa molécula, em reação com o ácido graxo de coco, forma um composto intermediário que reagido com o ácido monocloroacético e o hidróxido de sódio forma, finalmente, a Cocoamidopropil Betaína.

MOTTA (2007) define o processo de fabricação do sabonete líquido como simples e consiste, basicamente, na mistura, sob agitação, dos ingredientes e quantidades indicados abaixo:

- tensoativos: adição da melhor mistura de tensoativos para um ótimo desempenho do produto;

- espessantes: como o cloreto de sódio ou polímeros orgânicos, que proporcionam aumento de viscosidade nas formulações;
- agentes sequestrantes: possuem a função principal de eliminar os íons responsáveis pela dureza da água;
- conservantes: inibem o aparecimento de bactérias na fórmula;
- agente controlador de pH: permite o ajuste do pH ideal da formulação;
- corantes: permite colorir o produto final;
- fragrância: permite odorizar a formulação.

### 3.8.3 Embalagens dos sabonetes barra e líquido

De acordo com MESTRINER (2008), por envolver diversos aspectos peculiares de natureza técnica, comercial e psicológica, a embalagem, em seu aspecto, forma e beleza, é associada pelo consumidor à qualidade do produto, uma vez que influencia a estabilidade e a vida útil do produto.

Cada embalagem deve ser considerada e especificada para o produto que ela irá acondicionar (SPITZ, 2004). As embalagens para sabonetes podem ser compostas por:

- envoltórios de papel;
- frasco plástico;
- filme plástico;
- cartucho de cartolina;
- embalagens especiais (celofane, plástico etc.).

Essas embalagens têm como finalidade técnica evitar:

- a contaminação por agentes externos;
- a oxidação;
- a descoloração;
- a perda de umidade e perfume;
- os danos físicos;
- a formação de mofo (RITTNER, 1995).

E é por isso que é necessário que a embalagem atenda aos requisitos técnicos, tais como:

- espessura;
- resistência;
- ruptura;

- resistência à abrasão;
- uniformidade de cores;
- resistência de fechamento;
- permeabilidade à água, óleos e perfumes;
- reação química com o produto;
- comportamentos na exposição em prateleiras de comercialização além de outros.

De acordo com TWEDE et al. (2008), a embalagem mais comum utilizada para um sabonete líquido é um frasco de plástico, podendo ser de PET (polietileno tereftalato), PP (polipropileno) ou PE (polietileno), sendo a escolha do material diretamente relacionada com a mensagem que se deseja passar, uma vez que um frasco de PET permite a transparência e a melhor visualização do produto no interior da embalagem e os frascos de PP ou PE não permitem essa transparência, apesar de permitirem a adição de resinas que promovem agradabilidade ao toque na embalagem.

E, ainda de acordo com TWEDE et al. (2008), a embalagem mais comum utilizada para um sabonete em barra é um filme plástico, podendo ser de apenas um material, com o PP, ou uma mistura desses materiais (PP + PET), o que garante uma menor quantidade de embalagem por produto, reduzindo em muito o seu custo no produto final.

Para o presente trabalho, foi considerado um frasco de plástico de PP para o sabonete líquido e um filme plástico de PP para o sabonete em barra. A escolha desses dois tipos de embalagem fez-se primeiro por ambos possuírem o mesmo tipo de resina, o polipropileno, mas também por apresentarem processamentos da embalagem diferentes e massas diferentes.

## 4 Método de pesquisa

Para atingir o objetivo final do trabalho, comparação ambiental de dois sabonetes cosméticos, a metodologia desenvolvida foi baseada nas normas ABNT NBR ISO 14040 (2009a) e ABNT NBR ISO 14044 (2009b), por se tratar de um estudo de ACV.

A escolha do método de pesquisa utilizado em um trabalho é de extrema importância para o seu melhor entendimento. De acordo com YIN (2005), essa escolha está muito relacionada ao seu objetivo final.

Ainda segundo YIN (2005), o processo de escolha da estratégia de pesquisa considera as cinco alternativas: experimentos, levantamentos, análise de arquivos, pesquisas históricas e estudos de caso. E, de acordo com o autor, essas estratégias estão relacionadas às seguintes condições: ao tipo de questão de pesquisa que define o objetivo do trabalho, à extensão de controle que o pesquisador tem sobre eventos comportamentais e ao grau de enfoque em acontecimentos contemporâneos em oposição a acontecimentos históricos.

A Tabela 4.1 ilustra as cinco estratégias relacionadas às três condições que devem ser levadas em consideração.

**Tabela 4.1: Situações relevantes para diferentes estratégias de pesquisa (adaptada de Yin, 2005).**

| <b>Estratégia</b>          | <b>Forma de questão da pesquisa</b> | <b>Exige controle sobre eventos comportamentais</b> | <b>Focaliza acontecimentos contemporâneos</b> |
|----------------------------|-------------------------------------|---|---|
| <b>Experimento</b>         | Como, por que                       | Sim   | Sim   |
| <b>Levantamento</b>        | Quem, o que, onde, quantos, quanto  | Não   | Sim   |
| <b>Análise de arquivos</b> | Quem, o que, onde, quantos, quanto  | Não   | Sim/Não                                       |
| <b>Pesquisa histórica</b>  | Como, por que                       | Não   | Não   |
| <b>Estudo de caso</b>      | Como, por que                       | Não   | Sim   |

YIN (2005) afirma que para diferenciar as estratégias de pesquisa é preciso identificar o tipo de questão de pesquisa, ou seja, se são perguntas do tipo como ou por que, por exemplo. Essas perguntas podem estimular o uso de estudos de caso, experimentos ou pesquisas históricas, como ilustrado na Tabela 4.1.

A partir da norma ABNT NBR ISO 14040 (2009a), detalhada no capítulo da Revisão Bibliográfica, o item 3.3.2 retrata a Análise de Inventário, que envolve a co-

leta de dados e os procedimentos para a quantificação das entradas e saídas do sistema de produto.

Para essa etapa são necessários dados de medições obtidos *in loco* ou a partir de fontes estatísticas, normas e literaturas técnicas, bancos de dados internacionais, entre outros.

Observa-se que para essa etapa do estudo faz-se perguntas do tipo “como” ou “por que” sobre um conjunto contemporâneo de acontecimentos que se tem pouco ou nenhum controle e que, segundo YIN (2005), remetem a um estudo de caso.

Dessa forma, a realização de um estudo de caso no presente trabalho permite o levantamento de dados para o inventário dos ciclos de vida dos sabonetes cosméticos e, a partir desses inventários, realizar a avaliação do desempenho ambiental dos dois sabonetes cosméticos propostos no presente trabalho, barra e líquido.

Assim como a norma ABNT NBR ISO 14040 (2009a) propõe quatro etapas (descritas na Revisão Bibliográfica) para a sua metodologia, a saber:

- definição do objetivo e escopo;
- análise de inventário;
- avaliação de impacto;
- interpretação.

Yin (2005) divide o estudo de caso em cinco etapas, a saber:

- definição do tipo de projeto;
- preparação da coleta de dados;
- coleta das evidências;
- análise das evidências e;
- relato do estudo de caso.

Observa-se assim uma correlação das etapas descritas na norma ABNT NBR ISO 14040 (2009a) com as etapas descritas por YIN (2005) para o estudo de caso, onde é possível observar uma fase preparatória do estudo, a sua realização em si e a sua interpretação. A Tabela 4.2 ilustra a correlação das etapas da norma ABNT NBR ISO 14040 (2009a) com as etapas descritas por YIN (2005) para um estudo de caso, mostrando quais etapas são similares para cada um.



**Tabela 4.2: Correlações entre a norma ABNT NBR ISO 14040 e as etapas de um estudo de caso para YIN (2005) (elaborada pelo autor).**

| ABNT NBR ISO 14040 (2009a)     | ESTUDO DE CASO (YIN, 2005)                                    |
|--------------------------------|---|
| Definição do objetivo e escopo | Definição do tipo de projeto<br>Preparação da coleta de dados |
| Análise de inventário          | Coleta de evidências  |
| Avaliação de impacto           | Análise das evidências  |
| Interpretação dos resultados   | Relato do estudo de caso                                      |

Nos próximos itens, essas correlações entre a norma ABNT NBR ISO 14040 (2009a) e o estudo de caso de YIN (2005) serão mais bem detalhadas. Os itens serão classificados conforme a norma ABNT NBR ISO 14040 (2009a), já detalhada na Revisão Bibliográfica, inserindo-se os itens do estudo de caso propostos pelo YIN (2005).

#### **4.1 Definição do objetivo e escopo**

Nesse item, tem-se a correlação de uma etapa da norma ABNT NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), Definição do objetivo e escopo com duas etapas propostas pelo YIN (2005), Definição do tipo de projeto e Preparação da coleta de dados.

A partir do item 3.3.1, da Revisão Bibliográfica, que detalhou a definição do objetivo e escopo para a norma ABNT NBR ISO 14040 e das etapas definidas por YIN (2005) para a Definição do tipo de projeto a ser estudado, é possível fazer as seguintes correlações ilustradas na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3: Correlações entre a norma ABNT NBR ISO 14040 e as etapas de um estudo de caso para YIN (2005) (criada pelo autor).**

| Definição do objetivo e escopo (ABNT, 2009)   | Definição do tipo de projeto (YIN, 2005)<br>Preparação da coleta de dados (YIN, 2005) |
|---|---|
| - razões para a realização do estudo;<br>- qual o público-alvo e;<br>- se o estudo será utilizado para fins comparativos. | - conhecer os objetivos do trabalho para encontrar a melhor estratégia da pesquisa    |
| - definição da unidade funcional e;<br>- definição do fluxo de referência   | - realizar algumas proposições  |
| - sistema de produto;<br>- fronteiras do sistema de produto;<br>- limites do sistema                                      | - adotar quais serão as unidades de análise   |
| - procedimentos de alocação   | - explorar a lógica que une os dados à proposição                                     |
| - qualidade dos dados   | - preparação da coleta de dados   |
| - critérios para interpretação das constatações   | - tipo e formato do relatório final   |

Os produtos escolhidos para serem analisados nesta dissertação foram os sabonetes cosméticos, barra e líquido, por serem largamente conhecidos da população e por terem representativos volumes de vendas em uma empresa cosmética. Além disso, os dois sabonetes possuem a mesma unidade funcional, permitindo uma comparação entre os métodos de avaliação ambiental, assim como uma comparação ambiental entre os produtos.

No detalhamento do objetivo e escopo, é importante ressaltar as condições da opção da empresa a ser estudada no presente trabalho, sendo elas:

- empresa de bens de consumo do setor cosmético;
- empresa que tenha a produção local (no Brasil) dos dois sabonetes propostos no estudo;
- empresa disposta a colaborar com o fornecimento de informações.

O primeiro ponto justifica-se pelo nicho escolhido para o presente trabalho, os sabonetes cosméticos, que, segundo a ABIHPEC (2011), são os produtos cosméticos mais consumidos.

Como se pretende verificar a adequação da ACV à realidade nacional, faz-se a escolha por uma empresa que tenha a produção dos sabonetes propostos no estudo no Brasil. Por último, há a necessidade da empresa manifestar interesse em participar e ajudar na elaboração do estudo, justificando a terceira característica considerada.

A empresa cosmética escolhida para o estudo de caso é uma empresa brasileira que atua no setor cosmético, com faturamento anual superior a R\$ 5,5 bilhões em 2011. Tal empresa, chamada de Empresa-Cosmética (EC) a partir deste momento, possui um quadro com mais de 7.000 funcionários situados em sete países, sendo a matriz localizada no Brasil.

A coleta de dados realizada no presente trabalho pode ser dividida em dois tipos: os dados primários e os secundários. Os dados primários englobam os dados mais representativos pelo ponto de vista mássico (as matérias-primas mais relevantes estão em maior quantidade) dos sabonetes, sendo esses obtidos, de maneira geral, diretamente nas empresas, por meio de questionários específicos para isso. E os dados secundários são menos representativos, sendo obtidos por bancos de dados internacionais de ACV, normas e literaturas técnicas.

As perguntas desse questionário (Apêndice A) foram elaboradas para contemplar as principais etapas compreendidas em uma coleta de dados, como ilustrado na Figura 3.5, permitindo uma busca das informações dos principais processos de produção e das matérias-primas contempladas nesses fluxos.

Já os dados secundários possuem representação mássica bem inferior aos dados primários na composição de um sabonete e suas informações foram obtidas a partir de bases de dados de ACV ou literatura especializada, já listados anteriormente.

#### **4.2 Análise de inventário**

Nesta etapa, faz-se a correlação com a Coleta de evidências, sugerida por YIN (2005) para um estudo de caso, onde se sugerem algumas formas de realizar a coleta de dados nas empresas.

No presente trabalho foram realizadas algumas visitas às indústrias das matérias-primas, considerando sua logística, seu processo de fabricação, os procedimentos adotados, algumas especificidades e outros aspectos.

A partir destas visitas, e da pesquisa bibliográfica realizada, foi delimitado o escopo desta ACV. Muitas delimitações tiveram que ser feitas nesta etapa para que se obtivesse um inventário que satisfizesse os objetivos dentro das limitações existentes para um estudo de mestrado, como tempo, recursos humanos e financeiros limitados.

Para os dados primários, a coleta de evidências foi feita em base a entrevistas direcionadas e focadas que têm por fim conduzir a conversação. O questionário da Figura 3.5 serviu como ponto de referência para essa coleta de dados. No Apêndice A encontram-se mais detalhes desse questionário. Como as perguntas realizadas possuem um caráter mais quantitativo, buscou-se a validação da informação com documentação existente.

Como mencionado, a empresa escolhida para o estudo de caso é a empresa EC, porém para a construção do ciclo de vida dos sabonetes cosméticos, consideram-se também as empresas fornecedoras de matérias-primas, sendo elas:

- Empresa AP: fornecedora da Gordura de Palma para o sabonete em barra. Empresa brasileira, com sede e fábrica localizadas na região norte do país, no estado do Pará;

- Empresa CG: fornecedora do Lauril Éter Sulfato de Sódio, presente nos dois sabonetes e da Cocomido Propil Betaína, presente no sabonete líquido. Empresa química líder mundial, com sede na Alemanha e com a fábrica e distribuição localizada na região da Grande São Paulo;
- Empresa GI: fornecedora da Fragrância para ambos os sabonetes. Empresa multinacional no setor de fragrâncias, com sede e fábrica na Europa e distribuição localizada na região da Grande São Paulo;
- Empresa RZ: fornecedora da Glicerina Bi-destillada Vegetal para o sabonete líquido Empresa brasileira, com sede e fábrica localizadas no interior de São Paulo.

As entrevistas realizadas nessas empresas contaram com o apoio da empresa EC, que disponibilizou os contatos e algumas informações de consumo. O contato com essas empresas sempre ocorreu por meio dos seus Gerentes de Conta, responsáveis por atender a empresa EC e, após esse primeiro contato, os responsáveis pelos setores de Produção, Pesquisa e Desenvolvimento e/ou Importação foram contatados.

Durante todo o trabalho, profissionais da empresa EC responsáveis pelas cadeias de Suprimentos das matérias-primas e pela engenharia de processos dos produtos foram contatados.

A Tabela 4.4 ilustra os cargos das pessoas em cada empresa que nos passaram as informações, assim como a duração de cada entrevista.

**Tabela 4.4: Responsáveis das empresas, tipo e duração das entrevistas realizadas (elaborada pelo autor).**

| Empresa | Entrevistado  | Duração da Entrevista | Tipo da Entrevista |
|---------|---|-----------------------|--------------------|
| AP      | Gerente de Produção   | 4 horas               | Presencial         |
| CG      | Gerente de Produção e Gerente de Pesquisa e Desenvolvimento | 6 horas               | Presencial         |
| GI      | Gerente de Importação                                       | 1 hora                | Telefone           |
| RZ      | Gerente de Fabricação                                       | 2,5 horas             | Telefone           |

Para os dados secundários, a coleta de evidências foi feita a partir da busca dessas matérias-primas em bases de dados de ACV ou literatura especializada, como já relatado anteriormente.

### **4.3 Avaliação de impacto**

Essa fase de avaliação de impacto está diretamente relacionada com a Análise de evidências sugerida por YIN (2005), onde sugere-se trabalhar e modular a coleta de dados para o objetivo final do estudo.

Para a realização da avaliação dos impactos provenientes dos ciclos de vida dos sabonetes em barra e líquido, foi utilizado o software SIMAPRO v7, descrito no item 3.6 da Revisão Bibliográfica.

A escolha desse software baseou-se no seu conhecimento de mercado para cálculos em ACV e, segundo FERREIRA (2004), desde que foi introduzido em 1990, ele tem sido um dos mais utilizados para análise ambiental dos produtos e tomadas de decisão no desenvolvimento de produtos.

A metodologia para o cálculo dos impactos ambientais é fundamentada na criação de subsistemas principais para facilitar a inserção de dados no software SIMAPRO v7 e posterior montagem dos ciclos de vida para a avaliação final dos impactos.

O método de avaliação de impacto escolhido foi o RECIPE 2008, detalhado no item 3.4 da Revisão Bibliográfica. Esse método foi escolhido por ser, segundo GOEDKOOPT et al. (2010), um método que apresenta os melhores modelos para algumas categorias de impacto e, por ter como base os métodos CML 2001 e ECO-INDICATOR 99, muito utilizados em estudos de ACV, segundo o próprio autor.

Foi escolhido o nível de abordagem *endpoint* para esse método com a perspectiva Hierárquica (H) para o RECIPE ENPOINT, que é baseada nas políticas mais comuns no que diz respeito ao espaço de tempo e outras questões (GOEDKOOPT et al., 2010).

As categorias de impacto consideradas foram aquelas listadas no item 3.3.3 da Revisão Bibliográfica para o RECIPE 2008.

Os dados foram apresentados na forma caracterizada, que corresponde à conversão dos resultados de ICV para unidades comuns e, essa agregação dos resultados, convertidos dentro de cada categoria de impacto (ABNT, 2009a).

Os dados também foram apresentados na forma normalizada, que corresponde ao procedimento onde os valores determinados na etapa de caracterização são comparados com um valor de referência, fornecendo informações sobre suas significâncias relativas (ABNT, 2009a).

Posteriormente fez-se uma representação agrupada e de pontuação única dos gráficos para permitir a comparação entre os sabonetes. E, com o objetivo de identificar as oportunidades de melhorias no desempenho ambiental desses sabonetes, fez-se um gráfico de rede para os principais impactos, observando-se qual o fluxo que possui a maior contribuição.

#### **4.4 Interpretação**

A fase de interpretação dos resultados está diretamente relacionada ao Relato do estudo de caso proposto por YIN (2005).

Por fim, tem-se o relato do estudo de caso e sua apresentação final. Segundo Yin (2005), a estrutura desse relato deve estar de acordo com o público que irá lê-lo e apresentar de forma estruturada o estudo de caso.

Nesta fase identificam-se e analisam-se os resultados obtidos nas fases anteriores, definição do objetivo e escopo; inventário dos dados e; avaliação dos dados, realizando-se conclusões, recomendações e limitações do estudo.

O desenvolvimento do estudo por meio do software SIMAPRO v7 e do método RECIPE 2008 gerou informações necessária para as conclusões do estudo. A interpretação dos dados possibilitou recomendar medidas para a minimização dos impactos para os dois produtos analisados.

No presente trabalho, essa interpretação dos resultados foi focada na identificação dos *hotspots* ambientais dos ciclos de vida dos sabonetes utilizados, permitindo a sugestão de cenário alternativo de produção e propostas de melhorias ambientais nos ciclos de vida dos sabonetes cosméticos.

## 5 Resultados

### **5.1 Definição do objetivo e escopo**

A condução do estudo ocorre, entre outras, pela necessidade de se conhecer melhor os aspectos e impactos ambientais do ciclo de vida desses sabonetes cosméticos e o objetivo da análise é avaliar e comparar o desempenho ambiental de dois sabonetes cosméticos: barra e líquido.

O público alvo do trabalho será a empresa EC, os usuários de ACV e outras empresas do mesmo setor que a empresa EC e que poderão utilizar os resultados desse trabalho para comparações ambientais de seus produtos.

#### **5.1.1 Definição da função, da unidade funcional e do fluxo de referência**

Segundo a norma ABNT NBR ISO 14040 (2009a), a função de um sistema de produto deve definir claramente as características de performance do produto a ser modelado. Para o presente trabalho a função definida para o sabonete cosmético foi a de higienizar corpos.

Ainda de acordo com a mesma norma, a unidade funcional é a quantificação do exercício da função do produto a qual é utilizada como unidade de referência para os dados de entrada e saída. Dessa forma, adotou-se para este trabalho a unidade funcional de higienizar 50 corpos.

O sabonete em barra adotado para o presente estudo possui peso líquido de 100 gramas por produto e, o sabonete líquido possui peso líquido de 300 gramas por produto.

Para a definição do fluxo de referência, a partir de alguns estudos internos realizados pela empresa EC, definiu-se o desempenho técnico dos sabonetes do estudo como sendo a quantidade média de consumo deles no banho, sendo 4 gramas para o sabonete em barra e 6 gramas para o sabonete líquido.

Dessa forma, o fluxo de referência para o sabonete em barra atender a unidade funcional adotada é de 200 gramas de sabonete (2 sabonetes em barra) e, o fluxo de referência para o sabonete líquido para atender a unidade funcional adotada é de 300 gramas (1 sabonete líquido).

### 5.1.2 Definição do sistema de produto, das suas fronteiras e dos seus limites

De acordo com a norma ABNT NBR ISO 14040 (2009a), o sistema de produto é um conjunto de processos elementares com todos os fluxos de entrada e saída, desempenhando uma ou mais funções e modelando o ciclo de vida de um produto.

Para os estudos de ACV do sabonete em barra e do sabonete líquido foi considerada a abordagem berço ao túmulo, isto é, desde a extração das matérias-primas que compõe esses sabonetes até o descarte final de suas embalagens, passando pela etapa de uso durante o banho desses sabonetes e considerando as etapas de transporte envolvidas em todas essas etapas.

### 5.1.3 Procedimentos de alocação

No presente trabalho, sempre que possível, evitou-se a alocação, porém quando isto não foi possível, a alocação adotada baseou-se no critério mássico, detalhado anteriormente.

### 5.1.4 Definição da qualidade dos dados

#### DADOS PRIMÁRIOS

Os dados relativos às matérias-primas que estão em maior quantidade nos sabonetes foram coletados diretamente na indústria. Porém, descobriu-se que alguns dados ambientais não estavam disponíveis nas empresas entrevistadas e, quando isso ocorreu, dados de literatura especializada foram considerados.

Para a obtenção de dados primários, realizou-se um planejamento de quais dados deveriam ser medidos *in loco*, quais deveriam ser solicitados ao pessoal responsável da área de Meio Ambiente e Produção e quais tiveram que ser obtidos de literatura especializada.

Considerou-se que as séries históricas fornecidas pelos profissionais da indústria deveriam abranger um período mínimo de 12 meses corridos, por ser um período que minimiza as oscilações ao longo do ano e também ser de simples obtenção na indústria.

Para o sabonete em barra, a quantidade de matérias-primas utilizadas, a produção e os resíduos sólidos gerados foram realizados em base mássica, considerando também o transporte relacionado à produção desse sabonete e de suas matérias-primas.



Além das coletas de dados nas indústrias das matérias-primas e materiais de embalagens, foram analisados os dados do consumo energético, consumo de água e outros insumos, que puderam ser relacionados à produção de bens, aos resíduos sólidos e aos efluentes por meio de séries históricas.

Na representação dos diagramas balanceados dos Inventários de Ciclo de Vida (ICV) do próximo item, esses dados primários foram representados pela cor verde.

#### DADOS SECUNDÁRIOS

Os dados secundários são aqueles que não foram obtidos de maneira direta no fornecedor/produtor. Eles foram provenientes de bases de dados de ACV e puderam ser adaptados para as condições brasileiras (como a mudança da matriz energética do país originário da base, para a matriz energética brasileira), quando isso se fez necessário. Os dados secundários relacionados a transportes e produção de energia são considerados consagrados, uma vez que existem disponíveis bancos de dados nacionais relacionados a estes processos.

Como já mencionado na Pesquisa Bibliográfica, um exemplo de banco de dados é o *Ecoinvent*, que pode ser definido como uma ampla base de dados que mostra as cargas ambientais, incluindo as emissões gasosas, associadas ao ciclo de vida de produtos/processos industriais e de agricultura, entre outros.

Na representação dos diagramas balanceados dos Inventários de Ciclo de Vida (ICV) do próximo item, os dados secundários que tiveram sua matriz de informações adaptada para as condições brasileiras foram representados pela cor azul. E os dados secundários, que foram utilizados sem nenhuma modificação em sua base de dados original, foram representados pela cor cinza.

#### 5.1.5 **Análise Crítica e Tipo e formato do relatório final**

Para o presente trabalho, não foi realizada uma análise crítica de terceira parte, sendo o autor responsável pela verificação da qualidade dos resultados, conclusões e recomendações.

Considera-se o formato dessa dissertação de mestrado como o relatório final de um estudo de ACV.

## **5.2 Inventário do Ciclo de Vida**

O desenvolvimento de um ICV completo demanda grandes volumes de informação, muitas vezes de difícil obtenção, grande quantidade de tempo e esforço. Buscou-se, neste trabalho, uma representação da realidade analisada, com extensão e profundidade coerentes com o objetivo da ACV, adequada à disponibilidade de recursos humanos e materiais.

Como forma de facilitar a visualização dos ICV dos sabonetes cosméticos, a Figura 5.1 e a Figura 5.2, representam um diagrama balanceado das principais etapas que os dois sabonetes propostos no estudo passam até completar o seu ciclo de vida.

Algumas siglas utilizadas nas Figura 5.1 e Figura 5.2 serão detalhadas no decorrer desse capítulo. Elas foram utilizadas como abreviação para facilitar a montagem do diagrama balanceado.

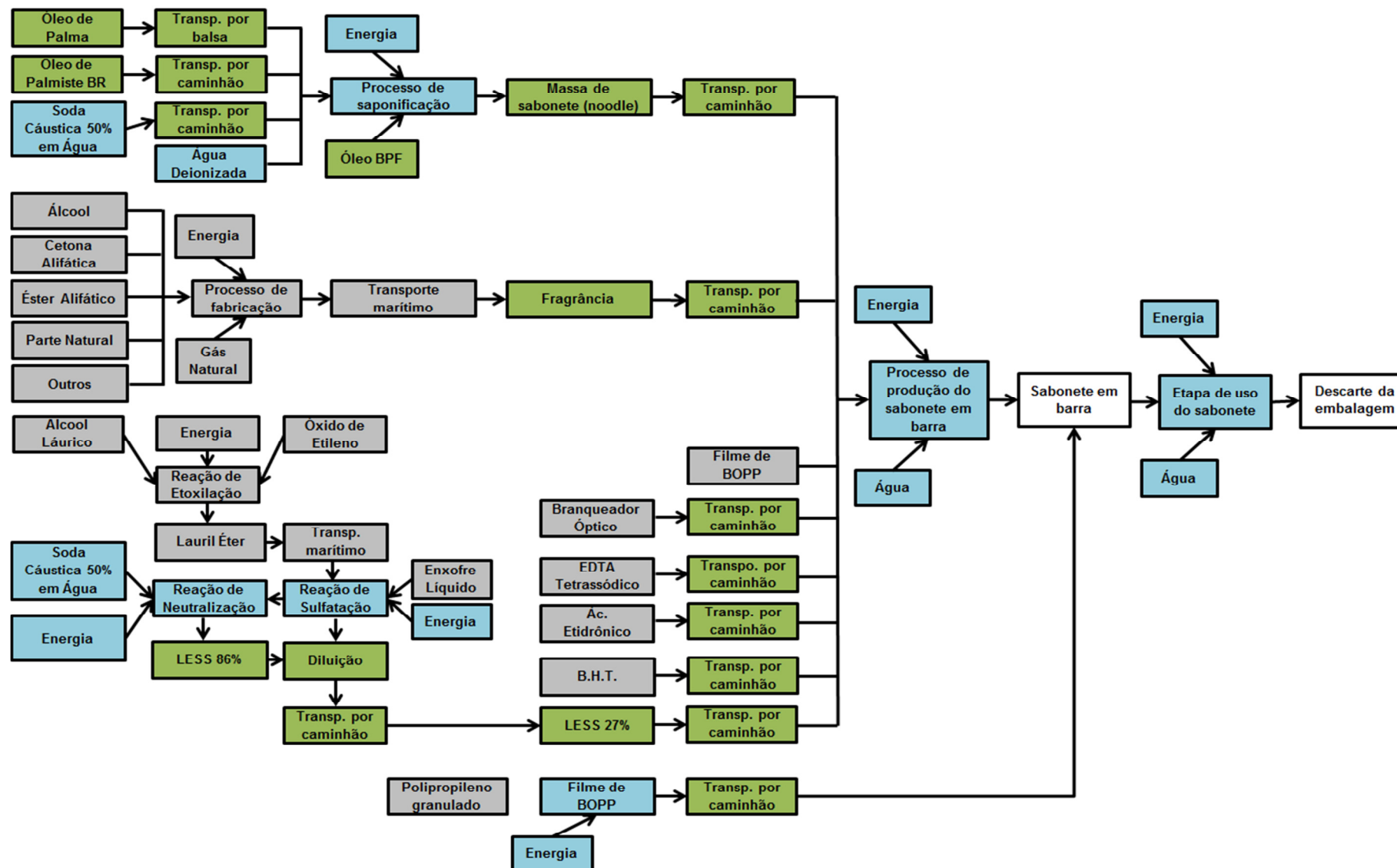


Figura 5.1 – Diagrama balanceado do sabonete em barra (elaborado pelo autor com informações da empresa EC)

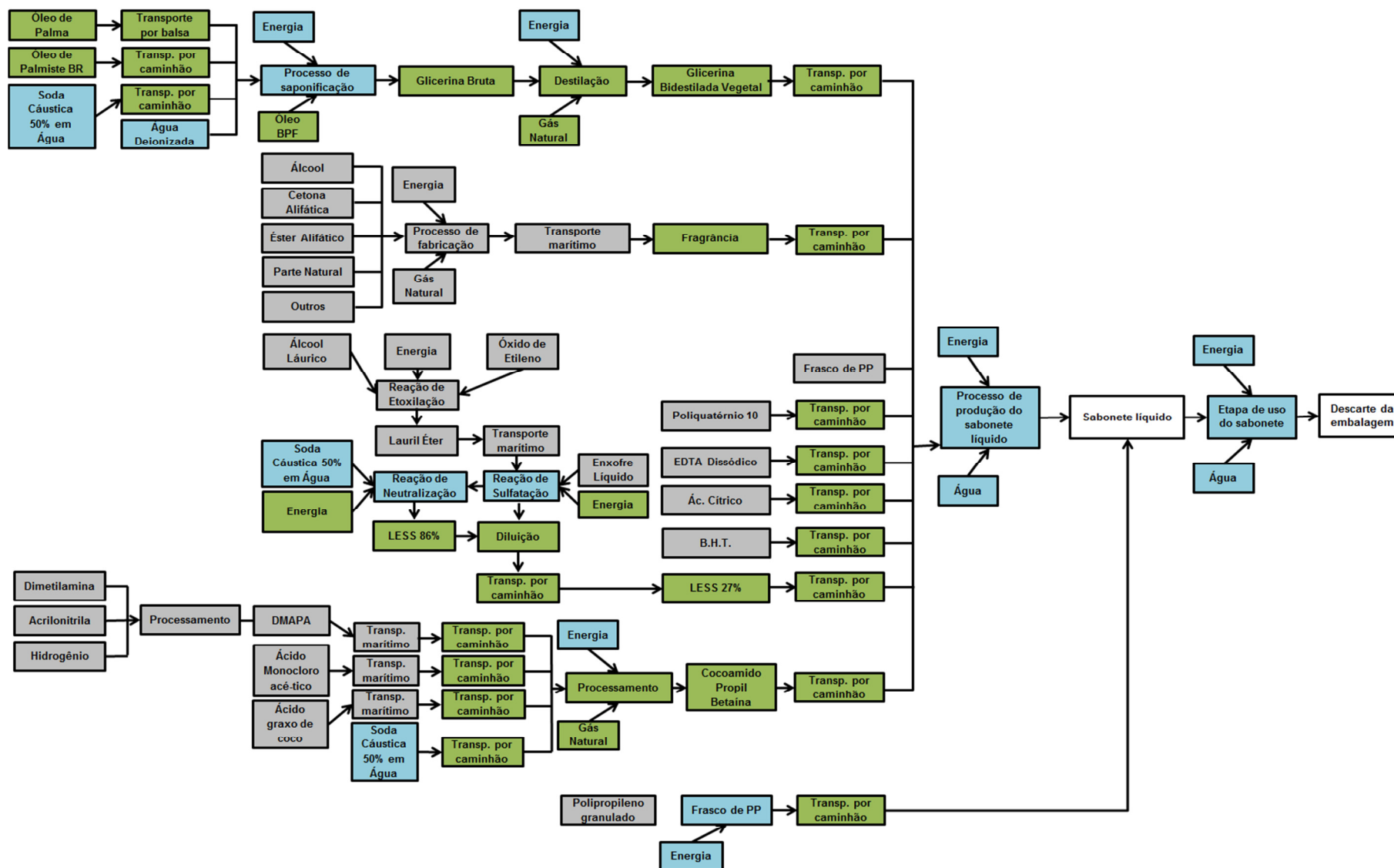


Figura 5.2 – Diagrama balanceado do sabonete líquido (elaborado pelo autor com informações da empresa EC).

Com o objetivo de facilitar a realização da etapa de ICV, fez-se uma proposta de divisão dos principais subsistemas que compõem o ciclo de vida dos sabonetes cosméticos propostos neste estudo, a saber:

- subsistema de energia elétrica: quase todos os processos utilizam energia elétrica para sua realização. Sendo assim, será destinado um item para esse modelo;
- subsistema de derivados de petróleo: algumas etapas do processo de fabricação utilizam derivados de petróleo para seu funcionamento (como o óleo BPF, também conhecido como óleo combustível pesado ou óleo combustível residual), assim como também são utilizados no transporte das matérias-primas;
- subsistema de transporte: transporte das matérias-primas e dos produtos, como o rodoviário, por barcaça ou marítimo;
- subsistema de etapa de uso do sabonete pelo consumidor: envolve a energia e a quantidade de água utilizadas durante o banho;
- subsistema das matérias-primas do sabonete em barra, considerando o modelo de descarte da sua embalagem;
- subsistema das matérias-primas do sabonete líquido, considerando o modelo de descarte da sua embalagem.

Para uma maior facilidade na realização dos ICV's, eles foram realizados com bases unitárias, ou seja, 1 kwh, 1 kg, 1 tkm etc. e quando os sistemas dos sabonetes foram criados, a quantidade correta de cada matéria-prima, energia e quilometragem foi colocada corretamente.

### 5.2.1 Energia Elétrica

Os consumidores de energia elétrica são caracterizados como responsáveis por unidades consumidoras de energia elétrica, se conectando aos sistemas de distribuição de baixa, média ou alta tensão.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), têm-se os seguintes limites para cada tipo de tensão, com base no Montante de Uso do Sistema de Distribuição (MUSD):

- baixa tensão: quando o MUSD da Unidade Consumidora for igual ou inferior a 75 kW, responsável por atender aos consumidores em suas residências, comércios e pequenas indústrias;

- média tensão: quando o MUSD da Unidade Consumidora se encontrar entre 75 kW e 3.000 kW, inclusive, sendo responsável pelo fornecimento de energia elétrica aos consumidores de maior porte como indústrias, hospitais, condomínios, grandes edifícios etc.;
- alta tensão: quando o MUSD da Unidade Consumidora for superior a 3.000 kW, onde é utilizada para interligar os centros de geração aos centros de consumo, geralmente percorrendo grandes distâncias.

De acordo com a Figura 5.1 e a Figura 5.2, fez-se menção a dois tipos de energia, uma com o quadrado hachurado em azul, correspondendo a matriz energética brasileira e a outra, com o quadrado hachurado em cinza, correspondendo a matriz energética média europeia.

Para ambos os casos, utilizou-se o caso de média tensão, sendo esse tipo de tensão o mais comum utilizado nas indústrias. Para a etapa de uso dos sabonetes pelo consumidor, optou-se pelo modelo de baixa voltagem da matriz energética brasileira.

A matriz energética brasileira é fornecida na base de dados *Ecoinvent v2*,

Tabela 5.1, para a realização dos estudos de ACV e, dessa forma, para o presente trabalho, foi utilizado o inventário já existente na base de dados do *Ecoinvent v2*.

**Tabela 5.1: Inventário matriz de eletricidade brasileira.**

| PRODUTO                           |            |     |              |
|-----------------------------------|------------|-----|--------------|
| Matriz de eletricidade brasileira | 1          | kWh | Fonte        |
| <b>MATERIAIS/ ENERGIA</b>         |            |     |              |
| Carvão e Derivados                | 0,038235   | kWh | Ecoinvent v2 |
| Gás Natural                       | 0,048257   | kWh | Ecoinvent v2 |
| Derivados de Petróleo             | 0,0134327  | kWh | Ecoinvent v2 |
| Hidrelétrica                      | 0,83697    | kWh | Ecoinvent v2 |
| Nuclear                           | 0,023347   | kWh | Ecoinvent v2 |
| Eólica                            | 0,00013914 | kWh | Ecoinvent v2 |
| Biomassa                          | 0,03962    | kWh | Ecoinvent v2 |

Em alguns casos, as matérias-primas dos sabonetes em barra ou líquido foram produzidas fora do Brasil, como a produção da fragrância e do Dimetilamina Propilamina (DMAPA), utilizado na produção da Cocoamido Propil Betaína e, para esses casos, como as matérias-primas foram produzidas na Europa, utilizou-se o inventário já existente na base de dados do *Ecoinvent v2* para a média europeia.

### 5.2.2 Derivados de Petróleo

Para o sistema de produto de derivados de petróleo foram obtidas informações públicas disponíveis nos sites do Ministério do Desenvolvimento da Indústria e Comércio (MDIC) sistema Alice Web, Gás Natural e Biodiesel e Agência Nacional de Petróleo (ANP), onde informações sobre importações e exportações do petróleo nacional são facilmente obtidas.

Segundo a ANP (2011), 106.262.818 m<sup>3</sup> de petróleo passaram pelo parque de refino nacional e mais de 16 refinarias localizadas no Brasil fizeram o seu refino. Desse total, 80% de petróleo, originalmente brasileiros, são extraídos, em sua maioria em alto mar, 90%, contra 10% extraído em terra. Os 20% restantes são constituídos por petróleo importado, principalmente de países africanos (60% apenas da Nigéria) e de países árabes (30% só da Arábia Saudita).

Tanto a extração de petróleo dos principais exportadores para o Brasil (países africanos e países árabes) como as operações de transporte marítimo transoceânico, navegação por cabotagem ou em barcaças constam na base de dados do *Ecoinvent v2* e foram adotadas para esse subsistema sem adaptações, uma vez que já se encontram modeladas na base de dados. Para o petróleo importado, Tabela 5.2 foi adicionado o modal de transporte transoceânico por petroleiro, considerando-se uma distância de 10.000 km de distância entre os portos, modelo que será discutido no próximo item.

Tabela 5.2: Inventário petróleo importado.

| <b>PRODUTO</b>  |             |           |                                |
|---|-------------|-----------|--------------------------------|
| <b>Petróleo bruto Importado</b>                           | <b>1</b>    | <b>kg</b> | <b>Fonte</b>                   |
| <b>RECURSOS</b>   |             |           |                                |
| Gás natural em solo                                       | 0,00008     | m3        | Ecoinvent v2                   |
| Petróleo bruto em solo                                    | 1           | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Água sem especificação de origem                          | 0,0040902   | m3        | Ecoinvent v2                   |
| <b>MATERIAIS/ ENERGIA</b>                                 |             |           |                                |
| Químicos inorgânicos                                      | 0,00012     | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Químicos orgânicos  | 0,00009     | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Transporte rodoviário                                     | 0,000031    | tkm       | Ecoinvent v2                   |
| Transporte ferroviário                                    | 0,000126    | tkm       | Ecoinvent v2                   |
| Local exploração e produção de petróleo onshore           | 4,3478E-06  | m         | Ecoinvent v2                   |
| Gasoduto petróleo bruto                                   | 7,696E-09   | km        | Ecoinvent v2                   |
| Produção de petróleo bruto onshore                        | 1,3794E-10  | p         | Ecoinvent v2                   |
| Diesel queimado no gerador                                | 0,357       | MJ        | Ecoinvent v2                   |
| Eletricidade baixa voltagem                               | 0,074203    | kWh       | Ecoinvent v2                   |
| Gás natural   | 0,0037532   | m3        | Ecoinvent v2                   |
| Gás natural queimado na chama                             | 1,9962      | MJ        | Ecoinvent v2                   |
| Gás queimado na turbina                                   | 0,18006     | MJ        | Ecoinvent v2                   |
| Queima do óleo combustível                                | 0,24        | MJ        | Ecoinvent v2                   |
| Produção de água  | 0,42493     | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Transporte transoceânico até o Brasil                     | 10000       | kgkm      | Hipótese - Importação Petróleo |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>                               |             |           |                                |
| Metano, Bromotrifluor, Halon 1301                         | 5,82E-08    | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Metano fóssil   | 0,000025    | kg        | Ecoinvent v2                   |
| NM VOC, Compostos orgânicos voláteis não-metano           | 0,000075    | kg        | Ecoinvent v2                   |
| <b>EMISSIONES PARA A AGUA</b>                             |             |           |                                |
| Óleo  | 0,000079708 | kg        | Ecoinvent v2                   |
| BOD5, Demanda biológica de oxigênio                       | 0,00025125  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| COD, Demanda química de oxigênio                          | 0,00025125  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| DOC, Carbono orgânico dissolvido                          | 0,000068964 | kg        | Ecoinvent v2                   |
| TOC, Carbono orgânico total                               | 0,000068964 | kg        | Ecoinvent v2                   |
| AOX, Orgânicos halogenados adsorvíveis como Cl            | 8,21E-10    | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Nitrogênio  | 6,1575E-08  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Enxofre   | 2,1346E-07  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| <b>AGUA PARA TRATAMENTO</b>                               |             |           |                                |
| Baixo resíduos radioativos                                | 0,0000002   | m3        | Ecoinvent v2                   |
| Resíduos sólidos municipais, 22,9% água, aterro sanitário | 0,0001      | kg        | Ecoinvent v2                   |

Todavia, a extração de petróleo no Brasil não consta na base de dados do *Ecoinvent v2*, nem a extração em terra e nem a extração em plataformas marítimas. Dentre todos os países, cujas extrações de petróleo estão ilustradas na base de dados do *Ecoinvent v2*, adotou-se o inventário holandês como aquele que mais se assemelhava às práticas adotadas pelo Brasil para as extrações de petróleo onshore, Tabela 5.3 e em plataformas marítimas, Tabela 5.4.



Tabela 5.3: Inventário petróleo *onshore* brasileiro.

| PRODUTO  |             |     |                                   |
|--|-------------|-----|-----------------------------------|
| Petróleo bruto onshore Brasil                                      | 1           | kg  | Fonte                             |
| <b>RECURSOS</b>  |             |     |                                   |
| Petróleo bruto em solo   | 1           | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Gás natural em solo  | 0,0016242   | m3  | Ecoinvent v2                      |
| Água rio   | 1,7472E-06  | m3  | Ecoinvent v2                      |
| Água solo  | 1,7472E-06  | m3  | Ecoinvent v2                      |
| Água mar   | 1,7472E-06  | m3  | Ecoinvent v2                      |
| <b>MATERIAIS/ ENERGIA</b>  |             |     |                                   |
| Produção de petróleo onshore                                       | 1,38E-10    | p   | Ecoinvent v2                      |
| Químicos inorgânicos   | 1,5961E-06  | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Água   | 0,0017472   | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Gás queimado na turbina  | 0,0053516   | m3  | Ecoinvent v2                      |
| Diesel queimado no gerador   | 0,009514    | MJ  | Ecoinvent v2                      |
| Eletricidade, média voltagem, Brasil                               | 0,013875    | kWh | Matriz de eletricidade brasileira |
| Transporte rodoviário  | 6,9876E-06  | tkm | Ecoinvent v2                      |
| Transporte ferroviário   | 5,0344E-06  | tkm | Ecoinvent v2                      |
| Local exploração e produção de petróleo onshore                    | 1,4274E-06  | m   | Ecoinvent v2                      |
| Químicos orgânicos   | 1,0045E-06  | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Etilenoglicol  | 0,000021509 | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Metanol  | 0,000034684 | kg  | Ecoinvent v2                      |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>  |             |     |                                   |
| Metano fóssil  | 0,00022622  | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Dióxido de carbono fóssil  | 0,002114    | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Monóxido de carbono fóssil   | 0,000038057 | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Oxido de nitrogênio  | 6,8482E-07  | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Hidrocarbonetos alifáticos   | 0,000053329 | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Hidrocarbonetos aromáticos   | 0,000027824 | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Dióxido de enxofre   | 1,2935E-06  | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Mercurio   | 1,7839E-10  | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Radônio-222  | 0,000062302 | kBq | Ecoinvent v2                      |
| Metano Clorodifluor, HCFC-22                                       | 9,514E-08   | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Metano Diclorodifluor, CFC-12                                      | 9,514E-10   | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Resíduos de calor  | 0,049948    | MJ  | Ecoinvent v2                      |
| <b>ÁGUA PARA TRATAMENTO</b>  |             |     |                                   |
| Baixo resíduos radioativos   | 1,9956E-07  | m3  | Ecoinvent v2                      |
| Óleo mineral, 10% água, para incineração de resíduos perigosos     | 0,000037225 | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Resíduos sólidos municipais, 22,9% água, aterro sanitário          | 0,000033148 | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Madeira não tratada, 20% água, incineração municipal               | 7,2196E-06  | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Resíduos perigosos, 0% água, depósito subterrâneo                  | 0,000044833 | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Líquido antifreezer, 51,8% água, incineração de resíduos perigosos | 1,0147E-07  | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Pintura de emulsão, 0% água, incineração de resíduos perigosos     | 4,4756E-07  | kg  | Ecoinvent v2                      |

Tabela 5.4: Inventário petróleo *offshore* brasileiro.

| PRODUTO  |             |     |  |
|--|-------------|-----|--|
| Petróleo bruto offshore Brasil                   | 1           | kg  | Fonte                                  |
| <b>RECURSOS</b>                                  |             |     |  |
| Petróleo bruto em solo                           | 1           | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Gás natural em solo                              | 0,0013071   | m3  | Ecoinvent v2                           |
| Água, mar  | 0,00049273  | m3  | Ecoinvent v2                           |
| <b>MATERIAIS/ ENERGIA</b>                        |             |     |  |
| Plataforma petróleo offshore                     | 5,1094E-11  | p   | Ecoinvent v2                           |
| Químicos orgânicos                               | 8,1256E-07  | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Etilenoglicol                                    | 0,0000174   | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Metanol  | 0,000028057 | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Químicos inorgânicos                             | 1,5962E-06  | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Gás queimado na turbina                          | 0,0053522   | m3  | Ecoinvent v2                           |
| Diesel queimado no gerador                       | 0,0095153   | MJ  | Ecoinvent v2                           |
| Eletricidade, média voltagem, Brasil             | 0,013876    | kWh | Inventário energia elétrica brasileira |
| Transporte rodoviário                            | 6,9884E-06  | tkm | Ecoinvent v2                           |
| Transporte ferroviário                           | 5,0347E-06  | tkm | Ecoinvent v2                           |
| Local exploração e produção de petróleo offshore | 8,3335E-06  | m   | Ecoinvent v2                           |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>                      |             |     |  |
| Metano fóssil                                    | 0,00022624  | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Dióxido de carbono fóssil                        | 0,0021142   | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Monóxido de carbono fóssil                       | 0,00003806  | kg  | Ecoinvent v2                           |

(continua)

(continuação)

| PRODUTO  |             |     |              |
|--|-------------|-----|--------------|
| Petróleo bruto offshore Brasil                                     | 1           | kg  | Fonte        |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>  |             |     |              |
| Oxidos de nitrogênio   | 6,8489E-07  | kg  | Ecoinvent v2 |
| Hidrocarbonetos alifáticos   | 0,000053334 | kg  | Ecoinvent v2 |
| Hidrocarbonetos aromáticos   | 0,000027826 | kg  | Ecoinvent v2 |
| Dióxido de enxofre   | 1,2936E-06  | kg  | Ecoinvent v2 |
| Mercurio   | 1,7841E-10  | kg  | Ecoinvent v2 |
| Radônio-222  | 0,000062308 | kBq | Ecoinvent v2 |
| Metano Clorodifluor, HCFC-22                                       | 9,5153E-08  | kg  | Ecoinvent v2 |
| Metano Diclorodifluor, CFC-12                                      | 9,5153E-10  | kg  | Ecoinvent v2 |
| Resíduos de calor  | 0,049953    | MJ  | Ecoinvent v2 |
| <b>EMISSIONES PARA A ÁGUA</b>                                      |             |     |              |
| Oleos  | 5,9609E-06  | kg  | Ecoinvent v2 |
| Chumbo   | 2,4761E-07  | kg  | Ecoinvent v2 |
| Cádmio   | 3,6683E-09  | kg  | Ecoinvent v2 |
| Mercurio   | 9,1707E-10  | kg  | Ecoinvent v2 |
| Níquel   | 2,7512E-08  | kg  | Ecoinvent v2 |
| Zinco  | 8,3912E-07  | kg  | Ecoinvent v2 |
| BOD5, Demanda biológica de oxigênio                                | 0,00087341  | kg  | Ecoinvent v2 |
| COD, Demanda química de oxigênio                                   | 0,00087341  | kg  | Ecoinvent v2 |
| DOC, Carbono orgânico dissolvido                                   | 0,00024775  | kg  | Ecoinvent v2 |
| TOC, Carbono orgânico total  | 0,00024775  | kg  | Ecoinvent v2 |
| AOX, Orgânicos halogenados adsorvíveis como Cl                     | 6,1398E-11  | kg  | Ecoinvent v2 |
| Nitrogênio   | 4,6048E-09  | kg  | Ecoinvent v2 |
| Enxofre  | 1,5964E-08  | kg  | Ecoinvent v2 |
| <b>ÁGUA PARA TRATAMENTO</b>  |             |     |              |
| Baixo resíduos radioativos   | 1,9956E-07  | m3  | Ecoinvent v2 |
| Oleo mineral, 10% água, para incineração de resíduos perigosos     | 0,000037228 | kg  | Ecoinvent v2 |
| Resíduos sólidos municipais, 22,9% água, aterro sanitário          | 0,000033151 | kg  | Ecoinvent v2 |
| Madeira não tratada, 20% água, incineração municipal               | 7,2204E-06  | kg  | Ecoinvent v2 |
| Resíduos perigosos, 0% água, depósito subterrâneo                  | 0,000044837 | kg  | Ecoinvent v2 |
| Líquido antifreezer, 51,8% água, incineração de resíduos perigosos | 1,0147E-07  | kg  | Ecoinvent v2 |
| Pintura de emulsão, 0% água, incineração de resíduos perigosos     | 4,4759E-07  | kg  | Ecoinvent v2 |

Dessa forma, 1 kg de petróleo bruto brasileiro pode ser expresso na Tabela 5.5, como a mistura do petróleo obtido pela extração *offshore* e extração *onshore*. Com as importações, o inventário de 1 kg de petróleo brasileiro da seguinte forma:

- Extração Brasil, *offshore* =  $0,90 \cdot 0,80 = 0,72$  kg
- Extração Brasil, *onshore* =  $0,10 \cdot 0,80 = 0,08$  kg
- Importação = 0,20 kg

Conforme mencionado, para os inventários de referência de extração de petróleo em terra e em plataforma marítima, utilizaram-se os inventários de petróleo holandeses existentes na base de dados do *Ecoinvent v2*, alterando os consumos de energia elétrica europeu para brasileiro, Tabela 5.6. Os demais aspectos ambientais do inventário do petróleo brasileiro foram mantidos sem modificações.

Tabela 5.5: Inventário petróleo bruto brasileiro.

| PRODUTO                        |            |    |              |
|--------------------------------|------------|----|--------------|
| Petróleo bruto Brasil          | 1          | kg | Fonte        |
| <b>MATERIAIS/ ENERGIA</b>      |            |    |              |
| Petróleo bruto offshore Brasil | 0,9        | kg | 90% offshore |
| Petróleo bruto onshore Brasil  | 0,1        | kg | 10% onshore  |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>    |            |    |              |
| Hidrocarbonetos alifáticos     | 0,0000014  | kg | Ecoinvent v2 |
| Benzeno                        | 0,00000045 | kg | Ecoinvent v2 |
| Butano                         | 0,0000038  | kg | Ecoinvent v2 |

(continua)

(continuação)

| PRODUTO                     |            |    |              |
|-----------------------------|------------|----|--------------|
| Petróleo bruto Brasil       | 1          | kg | Fonte        |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b> |            |    |              |
| Metano fóssil               | 0,0000016  | kg | Ecoinvent v2 |
| Etano                       | 0,00000045 | kg | Ecoinvent v2 |
| Hexano                      | 0,0000018  | kg | Ecoinvent v2 |
| Pentano                     | 0,0000054  | kg | Ecoinvent v2 |
| Propano                     | 0,0000029  | kg | Ecoinvent v2 |
| Tolueno                     | 0,00000027 | kg | Ecoinvent v2 |

Tabela 5.6: Inventário petróleo Brasil.

| PRODUTO                   |          |    |           |
|---------------------------|----------|----|-----------|
| Petróleo Brasil           | 1        | kg | Fonte     |
| <b>MATERIAIS/ ENERGIA</b> |          |    |           |
| Petróleo bruto Brasil     | petrobr  | kg | Calculado |
| Petróleo bruto Importado  | petroimp | kg | Calculado |

Após as adaptações e considerações para o petróleo brasileiro, foi possível desenvolver os inventários dos seus derivados como o diesel, o óleo BPF e o gás natural.

#### 5.2.2.1 Óleo diesel

Após definido o inventário do petróleo brasileiro, Petróleo BR, utilizaram-se essas considerações de refino para o modelamento do óleo diesel, a partir de um inventário europeu já existente na base de dados do *Ecoinvent v2*, alterando os consumos de energia elétrica para o mix Brasil.

Segundo informações de importação e exportação coletadas no site do MDIC sistema Alice Web e de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN, 2011), 12% de todo o diesel consumido no Brasil é importado de países como a Índia e os Estados Unidos.

Na base de dados do *Ecoinvent v2*, não há representações desses inventários de diesel para esses países, portanto, adotou-se o inventário genérico europeu com a adição do modal de transporte marítimo por petroleiro, considerando a distância de 10.000 km até o porto brasileiro, Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Inventário diesel importado.

| PRODUTO                                |             |           |                                |
|--|-------------|-----------|--------------------------------|
| <b>Diesel importado</b>                | <b>1</b>    | <b>kg</b> | <b>Fonte</b>                   |
| <b>RECURSOS</b>                        |             |           |                                |
| Cobalto                                | 2,9158E-08  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Água rio                               | 0,000672    | m3        | Ecoinvent v2                   |
| Água resfriamento                      | 0,00384     | m3        | Ecoinvent v2                   |
| <b>MATERIAIS</b>                       |             |           |                                |
| Água                                   | 0,014592    | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Cloreto de cálcio, CaCl2               | 0,00015552  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Ácido clorídrico, 30% água             | 0,00008544  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Sulfato de ferro                       | 0,000048    | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Lima hidratada                         | 0,0000336   | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Óleo lubrificante                      | 0,000023808 | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Nitrogênio líquido                     | 0,00079104  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Sabão                                  | 2,5728E-06  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Hipocloreto de sódio                   | 0,000048    | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Ácido sulfúrico                        | 0,000011424 | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Transporte rodoviário                  | 0,00067872  | tkm       | Ecoinvent v2                   |
| Transporte ferroviário                 | 0,0040704   | tkm       | Ecoinvent v2                   |
| Importação de petróleo                 | 0,9693792   | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Eletricidade, média voltagem, Europa   | 0,024523    | kWh       | Ecoinvent v2                   |
| Gás de refinaria queimado no forno     | 1,9825      | MJ        | Ecoinvent v2                   |
| Óleo combustível queimado na caldeira  | 0,68039     | MJ        | Ecoinvent v2                   |
| Gás de refinaria queimado em chamas    | 0,083628    | MJ        | Ecoinvent v2                   |
| Refinaria                              | 2,7572E-11  | p         | Ecoinvent v2                   |
| Amônia líquida                         | 0,00000193  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Nafta                                  | 0,038407    | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Químicos orgânicos                     | 0,0004272   | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Propileno glicol                       | 0,000000552 | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Molibdênio                             | 1,5836E-08  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Zeólita                                | 3,3728E-06  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Zinco                                  | 3,638E-08   | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Transporte transoceânico               | 10000       | kgkm      | Hipótese - Importação Petróleo |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>            |             |           |                                |
| Amônia                                 | 7,056E-08   | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Monóxido de dinitrogênio               | 9,4367E-07  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Óxidos de nitrogênio                   | 0,000022125 | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Benzeno                                | 5,1724E-06  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Etil-benzeno                           | 1,2931E-06  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Butano                                 | 0,000051724 | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Buteno                                 | 1,2931E-06  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Etano                                  | 0,000012931 | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Eteno                                  | 2,5862E-06  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Heptano                                | 0,000012931 | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Hexano                                 | 0,000025862 | kg        | Ecoinvent v2                   |
| hidrocarbonetos alifáticos             | 4,3232E-11  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| hidrocarbonetos alifáticos insaturados | 2,3739E-12  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| hidrocarbonetos aromáticos             | 6,4848E-13  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Metano fóssil                          | 0,0000386   | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Particulados                           | 0,00000965  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Pentano                                | 0,000064655 | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Propano                                | 0,000051724 | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Propeno                                | 2,5862E-06  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Tolueno                                | 7,7586E-06  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Xileno                                 | 5,1724E-06  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Geração de calor                       | 0,051837    | MJ        | Ecoinvent v2                   |
| Dióxido de enxofre                     | 0,0001679   | kg        | Ecoinvent v2                   |
| <b>EMISSIONES PARA A AGUA</b>          |             |           |                                |
| Alumínio                               | 1,2288E-08  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Bário                                  | 2,4576E-08  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Boro                                   | 9,792E-08   | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Cálcio                                 | 0,000012288 | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Cloreto                                | 0,000019488 | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Cianeto                                | 4,2528E-08  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Fluoreto                               | 1,0944E-06  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| hidrocarbonetos aromáticos             | 1,7664E-07  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Ferro                                  | 1,2288E-07  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Magnésio                               | 6,1344E-06  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Manganês                               | 4,9056E-08  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Mercúrio                               | 2,4576E-11  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Molibdênio                             | 2,4576E-09  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Nitrato                                | 0,000002016 | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Fósforo                                | 9,504E-08   | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Potássio                               | 2,4576E-06  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Selênio                                | 3,6768E-09  | kg        | Ecoinvent v2                   |
| Prata                                  | 1,2288E-08  | kg        | Ecoinvent v2                   |

(continua)

(continuação)

| PRODUTO   | 1           | kg | Fonte        |
|---|-------------|----|--------------|
| <b>Diesel importado</b>   |             |    |              |
| <b>EMISSIONES PARA A ÁGUA</b>                                       |             |    |              |
| Sódio   | 0,000073632 | kg | Ecoinvent v2 |
| Sulfeto   | 2,4576E-08  | kg | Ecoinvent v2 |
| Sólidos suspensos   | 2,4576E-06  | kg | Ecoinvent v2 |
| Tolueno   | 2,448E-07   | kg | Ecoinvent v2 |
| Xileno  | 2,4576E-08  | kg | Ecoinvent v2 |
| AOX, Orgânicos halogenados adsorvíveis como Cl                      | 3,9471E-09  | kg | Ecoinvent v2 |
| Benzeno   | 5,5787E-09  | kg | Ecoinvent v2 |
| PAH, policíclicos aromáticos de hidrocarbonetos                     | 3,9471E-09  | kg | Ecoinvent v2 |
| Sulfato   | 0,000049925 | kg | Ecoinvent v2 |
| Arsênio   | 2,432E-09   | kg | Ecoinvent v2 |
| Etil-benzeno  | 4,8545E-11  | kg | Ecoinvent v2 |
| Cádmio  | 2,432E-09   | kg | Ecoinvent v2 |
| Cromo   | 5,4245E-08  | kg | Ecoinvent v2 |
| Cobre   | 2,432E-09   | kg | Ecoinvent v2 |
| Chumbo  | 7,676E-08   | kg | Ecoinvent v2 |
| Níquel  | 3,2015E-09  | kg | Ecoinvent v2 |
| Estrôncio   | 1,7005E-07  | kg | Ecoinvent v2 |
| Vanádio   | 7,277E-09   | kg | Ecoinvent v2 |
| Zinco   | 4,1895E-08  | kg | Ecoinvent v2 |
| BOD5, Demanda biológica de oxigênio                                 | 1,7318E-06  | kg | Ecoinvent v2 |
| TOC, Carbono orgânico total   | 6,8309E-06  | kg | Ecoinvent v2 |
| DOC, Carbono orgânico dissolvido                                    | 2,9291E-08  | kg | Ecoinvent v2 |
| COD, Demanda química de oxigênio                                    | 0,000030437 | kg | Ecoinvent v2 |
| Hidrocarbonetos   | 2,317E-08   | kg | Ecoinvent v2 |
| Nitrogênio  | 1,1188E-06  | kg | Ecoinvent v2 |
| Oleos   | 2,2475E-07  | kg | Ecoinvent v2 |
| Fenol   | 6,5296E-08  | kg | Ecoinvent v2 |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                                       |             |    |              |
| Lodo de refinaria, 89.5% água, aterro sanitário                     | 0,00018048  | kg | Ecoinvent v2 |
| Lodo de refinaria, 89.5% água, incineração de resíduos              | 0,000192    | kg | Ecoinvent v2 |
| Conversor catalítico de redução de Nox, 0% água, aterro subterrâneo | 0,00000034  | kg | Ecoinvent v2 |

Para o subsistema da produção nacional de diesel, foi considerada uma proporção de 5% de biodiesel de soja produzido via rota metílica, conhecido como diesel B5, comercializado pela empresa Petrobras a partir de janeiro de 2010, Tabela 5.8

Tabela 5.8: Inventário da produção nacional de diesel.

| PRODUTO                                  | 1           | kg  | Fonte                     |
|--|-------------|-----|---------------------------|
| <b>Produção nacional de diesel</b>       |             |     |                           |
| <b>MATERIAIS</b>                         |             |     |                           |
| Água                                     | 0,014592    | kg  | Ecoinvent v2              |
| Cloro de cálcio CaCl <sub>2</sub>        | 0,000015552 | kg  | Ecoinvent v2              |
| Ácido clorídrico 30% em H <sub>2</sub> O | 0,00008544  | kg  | Ecoinvent v2              |
| Sulfato de ferro                         | 0,000048    | kg  | Ecoinvent v2              |
| Cal hidratada                            | 0,0000336   | kg  | Ecoinvent v2              |
| Óleo lubrificante                        | 0,000023808 | kg  | Ecoinvent v2              |
| Nitrogênio líquido                       | 0,00079104  | kg  | Ecoinvent v2              |
| Sabão                                    | 2,5728E-06  | kg  | Ecoinvent v2              |
| Hipoclorito de sódio                     | 0,000048    | kg  | Ecoinvent v2              |
| Ácido sulfúrico líquido                  | 0,000011424 | kg  | Ecoinvent v2              |
| Transporte rodoviário                    | 0,00067872  | tkm | Ecoinvent v2              |
| Transporte ferroviários                  | 0,0040704   | tkm | Ecoinvent v2              |
| Petróleo BR                              | 0,97        | kg  | Modelo Petróleo/BR        |
| Eletricidade, média voltagem, Brasil     | 0,024523    | kWh | Modelo Energia Brasileira |
| Gás de refinaria queimado no forno       | 1,9825      | MJ  | Ecoinvent v2              |
| Óleo combustível queimado na caldeira    | 0,68039     | MJ  | Ecoinvent v2              |
| Gás refinado queimado em chamas          | 0,083628    | MJ  | Ecoinvent v2              |

(continua)

(continuação)

| PRODUTO   |             |           |                      |
|---|-------------|-----------|----------------------|
| <b>Produção nacional de diesel</b>              | <b>1</b>    | <b>kg</b> | <b>Fonte</b>         |
| <b>MATERIAIS</b>                                |             |           |                      |
| Refinaria                                       | 2,7572E-11  | p         | Ecoinvent v2         |
| Amônia líquida                                  | 0,00000193  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Nafta   | 0,038407    | kg        | Ecoinvent v2         |
| Químicos orgânicos                              | 0,0004272   | kg        | Ecoinvent v2         |
| Propilenoglicol                                 | 0,000000552 | kg        | Ecoinvent v2         |
| Molibdênio                                      | 1,5836E-08  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Zeólita em pó                                   | 3,3728E-06  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Zinco   | 3,638E-08   | kg        | Ecoinvent v2         |
| <b>EMISSÕES PARA O AR</b>                       |             |           |                      |
| Amônia  | 7,056E-08   | kg        | Ecoinvent v2         |
| Monóxido de dinitrogênio                        | 9,4367E-07  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Oxidos de nitrogênio                            | 0,000022125 | kg        | Ecoinvent v2         |
| Benzeno   | 5,1724E-06  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Etil-benzeno                                    | 1,2931E-06  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Butano  | 0,000051724 | kg        | Ecoinvent v2         |
| Buteno  | 1,2931E-06  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Etano   | 0,000012931 | kg        | Ecoinvent v2         |
| Eteno   | 2,5862E-06  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Heptano   | 0,000012931 | kg        | Ecoinvent v2         |
| Hexano  | 0,000025862 | kg        | Ecoinvent v2         |
| Hidrocarbonetos alifáticos                      | 4,3232E-11  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Hidrocarbonetos alifáticos insaturados          | 2,3739E-12  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Hidrocarbonetos aromáticos                      | 6,4848E-13  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Metano fóssil                                   | 0,0000386   | kg        | Ecoinvent v2         |
| Particulados                                    | 0,00000965  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Pentano   | 0,000064655 | kg        | Ecoinvent v2         |
| Propano   | 0,000051724 | kg        | Ecoinvent v2         |
| Propeno   | 2,5862E-06  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Tolueno   | 7,7586E-06  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Xileno  | 5,1724E-06  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Geração de calor                                | 0,051837    | MJ        | Ecoinvent v2         |
| Dióxido de enxofre                              | 0,00005     | kg        | Biodiesel brasileiro |
| <b>EMISSÕES PARA A ÁGUA</b>                     |             |           |                      |
| Alumínio  | 3,36E-08    | kg        | Ecoinvent v2         |
| Amônio  | 4,48E-06    | kg        | Ecoinvent v2         |
| AOX, Orgânicos halogenados adsorvíveis como Cl  | 1,08E-08    | kg        | Ecoinvent v2         |
| Arsênio   | 6,66E-09    | kg        | Ecoinvent v2         |
| Bário   | 4,2624E-08  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Benzeno   | 9,7114E-09  | kg        | Ecoinvent v2         |
| BOD5, Demanda biológica de oxigênio             | 3,0039E-06  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Boron   | 1,7088E-07  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Cádmio  | 4,2275E-09  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Cálcio  | 0,000021312 | kg        | Ecoinvent v2         |
| Chumbo  | 1,3395E-07  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Cianeto   | 7,392E-08   | kg        | Ecoinvent v2         |
| Cloreto   | 0,000033984 | kg        | Ecoinvent v2         |
| Cobre   | 2,432E-09   | kg        | Ecoinvent v2         |
| COD, Demanda química de oxigênio                | 0,000030437 | kg        | Ecoinvent v2         |
| Cromo   | 9,443E-08   | kg        | Ecoinvent v2         |
| DOC, Carbono orgânico dissolvido                | 2,9291E-08  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Estrôncio                                       | 1,7005E-07  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Etil-benzeno                                    | 8,4455E-11  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Fenol   | 6,5296E-08  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Ferro   | 1,2288E-07  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Ferro   | 2,1312E-07  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Fluoreto  | 1,9104E-06  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Fósforo   | 1,6512E-07  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Hidrocarbonetos                                 | 4,0382E-08  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Hidrocarbonetos aromáticos                      | 3,072E-07   | kg        | Ecoinvent v2         |
| Magnésio  | 0,000010656 | kg        | Ecoinvent v2         |
| Manganês  | 8,5344E-08  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Mercurio  | 4,2624E-11  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Molibdênio                                      | 4,272E-09   | kg        | Ecoinvent v2         |
| Níquel  | 5,5765E-09  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Nitrato   | 0,000003504 | kg        | Ecoinvent v2         |
| Nitrogênio                                      | 1,9463E-06  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Óleos   | 3,9058E-07  | kg        | Ecoinvent v2         |
| PAH, policíclicos aromáticos de hidrocarbonetos | 6,8683E-09  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Potássio  | 4,2624E-06  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Prata   | 1,2288E-08  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Selênio   | 6,4032E-09  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Sódio   | 0,00012768  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Sólidos suspensos                               | 4,2624E-06  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Sulfato   | 0,000084455 | kg        | Ecoinvent v2         |
| Sulfeto   | 4,3379E-08  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Sulfito   | 2,4576E-08  | kg        | Ecoinvent v2         |
| t-butil metil eter                              | 1,3536E-07  | kg        | Ecoinvent v2         |
| TOC, Carbono orgânico total                     | 6,8309E-06  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Tolueno   | 4,7464E-07  | kg        | Ecoinvent v2         |
| Vanádio   | 7,277E-09   | kg        | Ecoinvent v2         |
| Xileno  | 4,218E-08   | kg        | Ecoinvent v2         |
| Zinco   | 4,1895E-08  | kg        | Ecoinvent v2         |

O subsistema do biodiesel está representando na base de dados do *Ecoinvent v2* e foi utilizado sem nenhuma modificação.

Deste modo, para 1 kg de diesel brasileiro tem-se:

- Produção de diesel brasileiro =  $0,88 \cdot 0,95 = 0,836$  kg
- Importação de diesel =  $0,12 \cdot 0,95 = 0,114$  kg
- Biodiesel brasileiro = 0,05 kg

A Tabela 5.9 ilustra o subsistema completo do diesel brasileiro considerando a produção nacional, a importação e a parcela de biodiesel.

**Tabela 5.9: Inventário do diesel brasileiro.**

| PRODUTOS  |             |     |                                       |
|---|-------------|-----|---------------------------------------|
| Diesel Brasileiro   | 1           | kg  | Fonte                                 |
| <b>MATERIAIS</b>  |             |     |                                       |
| Produção nacional de diesel                                     | 0,82*diesel | kg  | Modelo diesel na refinaria brasileira |
| Eletricidade, média voltagem, Brasil                            | 0,0067      | kWh | Modelo de energia brasileira          |
| Oleo combustível leve queimado na caldeira de 100kW             | 0,000621    | MJ  | Ecoinvent v2                          |
| Água  | 0,000689    | kg  | Ecoinvent v2                          |
| Transporte rodoviário   | 0,0337      | tkm | Ecoinvent v2                          |
| Transporte ferroviário  | 0,032       | tkm | Ecoinvent v2                          |
| Transporte por barcação   | 0,047       | tkm | Ecoinvent v2                          |
| Gasoduto de petróleo onshore                                    | 0,559       | tkm | Ecoinvent v2                          |
| Transporte transoceânico  | 0,632       | tkm | Ecoinvent v2                          |
| Distribuição regional   | 2,48E-10    | p   | Ecoinvent v2                          |
| Biodiesel brasileiro  | biodiesel   | kg  | Inserido modelo brasileiro biodiesel  |
| Diesel na refinaria importado                                   | 0,18*diesel | kg  | Modelo diesel importado               |
| <b>EMISSÕES PARA O AR</b>                                       |             |     |                                       |
| Geração de calor  | 0,0241      | MJ  | Ecoinvent v2                          |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                                   |             |     |                                       |
| Tratamento de esgoto, de águas residuais                        | 0,00000689  | m3  | Ecoinvent v2                          |
| Tratamento do óleo minera, de águas residuais                   | 0,000075    | m3  | Ecoinvent v2                          |
| Resíduos sólidos municipais, 22,9% água, aterro sanitário       | 0,00000627  | kg  | Ecoinvent v2                          |
| Lamas de separação, 90% água, incineração de resíduos perigosos | 0,000168    | kg  | Ecoinvent v2                          |

Além da função como combustível, o diesel também pode ser utilizado como energia para equipamentos como escavadeiras, trator, carregadeiras e, para essa finalidade, ocorre o inventário de combustão desse diesel, fornecendo calor que gera energia para esses equipamentos.

Na base de dados do *Ecoinvent v2* é possível encontrar o inventário de combustão do diesel para a Alemanha e, como a finalidade do diesel para esse caso é a de fornecer energia, foi considerado esse inventário com alguns ajustes encontrados no site da ANP (2011), com as seguintes considerações:

Poder calorífico inferior (PCI), Diesel Brasil = 42,29 MJ/kg (10.100 kcal/kg);

- Poder calorífico inferior (PCI), Biodiesel Brasil = 37,68 MJ/kg (9.000 kcal/kg);
- Densidade Diesel Brasil = 0,852 kg/litro
- Densidade Biodiesel Brasil = 0,880 kg/litro

Assim, tem-se que a geração de 1 MJ de energia proveniente do inventário de diesel brasileiro, considerando 5% de biodiesel (B5), pode ser dada pela equação:

$$\text{Massa (kg)} = (1/42,29) \cdot 0,95 + ((1/37,68) \cdot 0,05)$$

Como já mencionado, para o inventário de combustão do diesel, utilizou-se o inventário de referência alemão presente na base de dados do *Ecoinvent v2*, atualizando-se as emissões atmosféricas de combustão desta mistura, uma vez que o diesel brasileiro também é composto pelo biodiesel. As seguintes modificações foram adotadas:

- correção do teor de enxofre do Diesel Brasileiro para 1.800 mg/kg (dados Petrobras);
- inserção da emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) biogênico referente à combustão de Biodiesel (90% dos átomos provenientes do óleo de soja);
- inserção da emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) biogênico referente à combustão de Biodiesel (10% dos átomos provenientes do metanol);
- emissão de compostos orgânicos voláteis não metano (NMVOC), referentes à parcela de combustão do biodiesel, utilizando-se como referência 65% do valor de VOC, compostos orgânicos voláteis do petrodiesel;
- emissão de particulados, referentes à parcela de combustão do biodiesel, utilizando-se como referência 45% do valor de particulados totais do petrodiesel.

Os demais aspectos ambientais do inventário do modelo do diesel brasileiro foram mantidos sem modificações, Tabela 5.10.

**Tabela 5.10: Inventário da combustão do diesel brasileiro nos equipamentos industriais.**

| PRODUTOS  |           |     |                   |
|---|-----------|-----|-------------------|
| Combustão do diesel brasileiro nos equipamentos industriais | 1         | I   | Fonte             |
| MATERIAIS   |           |     |                   |
| Diesel brasileiro   | 1         | I   | Diesel brasileiro |
| Transporte por barcaça                                      | 0,028425  | tkm | Ecoinvent v2      |
| Transporte rodoviário                                       | 0,0052453 | tkm | Ecoinvent v2      |
| Transporte ferroviário                                      | 0,041307  | tkm | Ecoinvent v2      |
| Transporte gasoduto   | 0,003354  | tkm | Ecoinvent v2      |

(continua)



(continuação)

| PRODUTOS  |                 |    |                   |
|---|-----------------|----|-------------------|
| Combustão do diesel brasileiro nos equipamentos industriais | 1               | I  | Fonte             |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>                                 |                 |    |                   |
| Butadieno   | 6,498E-07       | kg | Ecoinvent v2      |
| Acetaldeído   | 0,000012747     | kg | Ecoinvent v2      |
| Benzeno   | 0,00001556      | kg | Ecoinvent v2      |
| Dióxido de carbono  | 2,701           | kg | Ecoinvent v2      |
| Monóxido de carbono   | 0,014029        | kg | Ecoinvent v2      |
| Formaldeído   | 0,000019612     | kg | Ecoinvent v2      |
| Metano  | 0,00013363      | kg | Ecoinvent v2      |
| Oxidos de nitrogênio  | 0,052813        | kg | Ecoinvent v2      |
| PAH, policíclicos aromáticos de hidrocarbonetos             | 2,7921E-06      | kg | Ecoinvent v2      |
| Particulados  | 0,0016503       | kg | Ecoinvent v2      |
| Propeno   | 0,000042879     | kg | Ecoinvent v2      |
| Tolueno   | 6,7975E-06      | kg | Ecoinvent v2      |
| Oxidos de enxofre   | 0,0005986       | kg | Ecoinvent v2      |
| VOC, Compostos orgânicos não voláteis                       | 0,0013519       | kg | Ecoinvent v2      |
| Xileno  | 4,7367E-06      | kg | Ecoinvent v2      |
| NMVOC, Compostos orgânicos voláteis não-metano              | 0,65*0,0013519  | kg | Emissão Biodiesel |
| CO2 Biogênico   | 0,10*0,00013363 | kg | Emissão Biodiesel |
| Particulados Biodiesel                                      | 0,45*0,0016503  | kg | Emissão Biodiesel |

## 5.2.2.2 Óleo BPF

Assim como no subsistema anterior do diesel e, após definido o subsistema do petróleo brasileiro, Petróleo BR, utilizaram-se essas considerações de refino para o modelamento do óleo BPF, a partir de um subsistema europeu já existente na base de dados do *Ecoinvent v2*, alterando o consumo da energia elétrica para o mix Brasil, Tabela 5.11.

Tabela 5.11: Inventário do óleo BPF brasileiro.

| PRODUTO                              |             |     |                    |
|--------------------------------------|-------------|-----|--------------------|
| Óleo BPF, Brasil                     | 1           | kg  | Fonte              |
| <b>RECURSOS</b>                      |             |     |                    |
| Água rio                             | 0,00066858  | m3  | Ecoinvent v2       |
| Água de resfriamento                 | 0,0038205   | m3  | Ecoinvent v2       |
| <b>MATERIAIS</b>                     |             |     |                    |
| Água                                 | 0,014518    | kg  | Ecoinvent v2       |
| Cloreto de cálcio, CaCl2             | 0,000015473 | kg  | Ecoinvent v2       |
| Ácido clorídrico, 30% em H2O         | 0,000085005 | kg  | Ecoinvent v2       |
| Sulfato de ferro                     | 0,000047756 | kg  | Ecoinvent v2       |
| Lima hidratada                       | 0,000033429 | kg  | Ecoinvent v2       |
| Óleo lubrificante                    | 0,000023687 | kg  | Ecoinvent v2       |
| Nitrogênio líquido                   | 0,00078701  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Sabão                                | 2,5597E-06  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Hipoclorito de sódio                 | 0,000047756 | kg  | Ecoinvent v2       |
| Ácido sulfúrico                      | 0,000011366 | kg  | Ecoinvent v2       |
| Transporte rodoviário                | 0,00067527  | tkm | Ecoinvent v2       |
| Transporte ferroviário               | 0,0040497   | tkm | Ecoinvent v2       |
| Petróleo BR                          | 0,964       | kg  | Petróleo BR        |
| Eletricidade, média voltagem, Brasil | 0,031366    | kWh | Energia Brasileira |
| Gás de refinaria queimado            | 1,380681818 | MJ  | Ecoinvent v2       |
| Óleo combustível pesado queimado     | 0,47385     | MJ  | Ecoinvent v2       |
| Refinaria                            | 1,9204E-11  | p   | Ecoinvent v2       |
| Amônia líquida                       | 1,9205E-06  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Nafta                                | 0,038217    | kg  | Ecoinvent v2       |
| Químicos orgânicos                   | 0,00018239  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Propilenoglicol                      | 5,4886E-07  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Zeólita                              | 9,2267E-06  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Zinco                                | 9,9522E-08  | kg  | Ecoinvent v2       |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>          |             |     |                    |
| Benzeno                              | 5,1468E-06  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Etil-benzno                          | 1,2867E-06  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Butano                               | 0,000051468 | kg  | Ecoinvent v2       |
| Buteno                               | 1,2867E-06  | kg  | Ecoinvent v2       |

(continua)

(continuação)

| <b>PRODUTO</b>   |             |           |              |
|--|-------------|-----------|--------------|
| <b>Óleo BPF, Brasil</b>                                    | <b>1</b>    | <b>kg</b> | <b>Fonte</b> |
| Etano  | 0,000012867 | kg        | Ecoinvent v2 |
| Eteno  | 2,5734E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Heptano  | 0,000012867 | kg        | Ecoinvent v2 |
| Hexano   | 0,000025734 | kg        | Ecoinvent v2 |
| Hidrocarbonetos alifáticos                                 | 4,3018E-11  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Hidrocarbonetos alifáticos insaturados                     | 2,3622E-12  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Hidrocarbonetos aromáticos                                 | 6,4527E-13  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Metano   | 0,000038409 | kg        | Ecoinvent v2 |
| Particulados   | 9,6023E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Pentano  | 0,000064335 | kg        | Ecoinvent v2 |
| Propano  | 0,000051468 | kg        | Ecoinvent v2 |
| Propeno  | 2,5734E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Tolueno  | 7,7202E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Xileno   | 5,1468E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Geração de calor   | 0,036095    | MJ        | Ecoinvent v2 |
| Dióxido de enxofre   | 0,00011678  | kg        | Ecoinvent v2 |
| <b>EMISSÕES PARA A ÁGUA</b>                                |             |           |              |
| Alumínio   | 1,2225E-08  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Bário  | 2,4451E-08  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Boro   | 9,7422E-08  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Cálcio   | 0,000012225 | kg        | Ecoinvent v2 |
| Cloro  | 0,000019389 | kg        | Ecoinvent v2 |
| Cianeto  | 4,2312E-08  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Fluoreto   | 1,0888E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Hidrocarbonetos aromáticos                                 | 1,7574E-07  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Ferro  | 1,2225E-07  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Magnésio   | 6,1032E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Manganês   | 4,8806E-08  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Mercúrio   | 2,4451E-11  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Molibdênio   | 2,4451E-09  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Nitrato  | 2,0057E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Fósforo  | 9,4556E-08  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Potássio   | 2,4451E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Selênio  | 3,6581E-09  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Prata  | 1,2225E-08  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Sódio  | 0,000073257 | kg        | Ecoinvent v2 |
| Sulfeto  | 2,4451E-08  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Sólidos suspensos  | 2,4451E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Tolueno  | 2,4355E-07  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Xileno   | 2,4451E-08  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Vanádio  | 1,2703E-08  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Zinco  | 7,3162E-08  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Amônia   | 7,3892E-07  | kg        | Ecoinvent v2 |
| AOX, Orgânicos halogênicos adsorvidos como o Cl            | 3,535E-09   | kg        | Ecoinvent v2 |
| PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons                      | 3,535E-09   | kg        | Ecoinvent v2 |
| Sulfato de ferro   | 0,000044713 | kg        | Ecoinvent v2 |
| Benzeno  | 8,6975E-09  | kg        | Ecoinvent v2 |
| PAH, Policíclicos aromáticos hidrocarbonetos               | 6,1513E-09  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Sulfito  | 3,885E-08   | kg        | Ecoinvent v2 |
| Arsênico   | 2,6618E-09  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Cádmio   | 2,6618E-09  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Cromo  | 5,9371E-08  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Cobre  | 2,6618E-09  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Chumbo   | 8,4014E-08  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Níquel   | 3,504E-09   | kg        | Ecoinvent v2 |
| Estrôncio  | 1,8612E-07  | kg        | Ecoinvent v2 |
| BOD5, Demanda biológica de oxigênio                        | 7,8331E-07  | kg        | Ecoinvent v2 |
| DOC, Carbono orgânico dissolvido                           | 7,6397E-09  | kg        | Ecoinvent v2 |
| TOC, Carbono orgânico total                                | 3,0897E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Nitrogênio   | 7,7409E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Óleos  | 1,5534E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Fenol  | 7,0628E-08  | kg        | Ecoinvent v2 |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                              |             |           |              |
| Lodo de refinaria, 89.5% água, aterro sanitário            | 0,00017956  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Lodo de refinaria, 89.5% água, incineração                 | 0,00019102  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Conversor catalítico de redução de Nox, aterro subterrâneo | 9,3011E-07  | kg        | Ecoinvent v2 |

O óleo BPF é largamente utilizado na indústria para o aquecimento de fornos e caldeiras ou em motores de combustão interna para geração de calor, sendo assim, outros dois processos também foram considerados, um de queima do óleo combustível e outro de geração de calor.

Para o inventário de queima do combustível, foi considerado o inventário já existente na base de dados do *Ecoinvent v2*, média europeia com adaptação para o

inventário brasileiro de processo do óleo BPF, e o inventário de energia elétrica do Brasil, Tabela 5.12.

**Tabela 5.12: Inventário da queima do óleo BPF brasileiro.**

| PRODUTO  |      |    |          |
|--|------|----|----------|
| Queima óleo BPF, 1MW Brasil                          | 1    | MJ | Fonte    |
| MATERIAIS  |      |    |          |
| Óleo BPF queimado em forno industrial de 1MW, Brasil | 1,05 | MJ | Modelado |

Já para o inventário de geração de calor, foi considerado o inventário já existente na base de dados do *Ecoinvent v2*, média europeia com adaptação para o inventário brasileiro de queima do óleo BPF. Os demais aspectos ambientais do inventário do óleo BPF brasileiro foram mantidos sem modificações, Tabela 5.13.

**Tabela 5.13: Inventário da geração de calor do óleo BPF brasileiro.**

| PRODUTO  |             |     |                    |
|--|-------------|-----|--------------------|
| Óleo BPF queimado em forno industrial de 1MW, Brasil | 1           | MJ  | Fonte              |
| MATERIAIS  |             |     |                    |
| Óleo BPF, Brasil                                     | 0,0255      | kg  | Modelado           |
| Eletricidade, média voltagem, Brasil                 | 0,00083141  | kWh | Energia brasileira |
| Forno industrial 1MW                                 | 2,7778E-09  | p   | Ecoinvent v2       |
| EMISSIONES PARA O AR                                 |             |     |                    |
| Geração de calor                                     | 1,0955      | MJ  | Ecoinvent v2       |
| Acetaldeído  | 0,00000015  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Acetona  | 0,00000015  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Amônia   | 0,00000001  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Hidrocarbonetos alifáticos                           | 0,00000006  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Hidrocarbonetos alifáticos, insaturados              | 0,00000003  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Hidrocarbonetos aromáticos                           | 0,00000015  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Arsênio  | 0,000000013 | kg  | Ecoinvent v2       |
| Benzopireno  | 2,8E-11     | kg  | Ecoinvent v2       |
| Cálcio   | 0,00000008  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Cádmio   | 0,000000033 | kg  | Ecoinvent v2       |
| Metano   | 0,000003    | kg  | Ecoinvent v2       |
| Cobalto  | 0,000000033 | kg  | Ecoinvent v2       |
| Monóxido de carbono                                  | 0,000007    | kg  | Ecoinvent v2       |
| Dióxido de carbono                                   | 0,0779      | kg  | Ecoinvent v2       |
| Cromo  | 1,584E-08   | kg  | Ecoinvent v2       |
| Cromo IV   | 1,6E-10     | kg  | Ecoinvent v2       |
| Cobre  | 0,000000049 | kg  | Ecoinvent v2       |
| Ácido Acético  | 0,0000006   | kg  | Ecoinvent v2       |
| Etanol   | 0,0000003   | kg  | Ecoinvent v2       |
| Ferro  | 0,00000018  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Formaldeído  | 0,00000045  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Cloreto de hidrogênio                                | 0,0000144   | kg  | Ecoinvent v2       |
| Fluoreto de hidrogênio                               | 0,000000144 | kg  | Ecoinvent v2       |
| Merúrio  | 1,5E-10     | kg  | Ecoinvent v2       |
| Metanol  | 0,00000051  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Molibdênio   | 0,000000016 | kg  | Ecoinvent v2       |
| Monóxido de dinitrogênio                             | 0,0000016   | kg  | Ecoinvent v2       |
| Sódio  | 0,00000075  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Níquel   | 0,00000065  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Óxidos de nitrogênio                                 | 0,0001      | kg  | Ecoinvent v2       |
| PAH, policíclicos aromáticos de hidrocarbonetos      | 5,8E-10     | kg  | Ecoinvent v2       |
| Particulados < 2.5 um                                | 0,000035    | kg  | Ecoinvent v2       |
| Particulados > 2.5 um, and < 10um                    | 0,000005    | kg  | Ecoinvent v2       |
| Particulados > 10 um                                 | 0,00001     | kg  | Ecoinvent v2       |
| Chumbo   | 0,000000057 | kg  | Ecoinvent v2       |
| Propano  | 0,00000003  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Selênio  | 0,000000012 | kg  | Ecoinvent v2       |
| Dióxido de enxofre                                   | 0,0004      | kg  | Ecoinvent v2       |
| Tolueno  | 0,00000003  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Vanádio  | 0,0000026   | kg  | Ecoinvent v2       |
| Zinco  | 0,00000004  | kg  | Ecoinvent v2       |

## 5.2.2.3 Gás Natural

Assim como nos inventários anteriores do diesel e do óleo BPF e, após definido o inventário do petróleo brasileiro, Petróleo BR, utilizaram-se essas considerações de refino para o modelamento do refino do gás natural, a partir de um inventário europeu já existente na base de dados do *Ecoinvent v2*, alterando o consumo da energia elétrica para a brasileira, Tabela 5.14 e já contemplando a etapa de transporte de distribuição desse gás.

Tabela 5.14: Inventário do gás natural brasileiro.

| PRODUTO   |             |    |                    |
|---|-------------|----|--------------------|
| <b>Gás Natural Brasil</b>                       | 1           | kg | Fonte              |
| <b>MATERIAIS</b>                                |             |    |                    |
| Combustão do diesel brasileiro nos equipamentos | 0,00095279  | l  | Modelado           |
| Eleticidade, média voltagem, Brasil             | 0,028743    | kg | Energia Brasileira |
| Combustão da gasolina                           | 0,024149    | m3 | Ecoinvent v2       |
| Óleo combustível residual                       | 0,00058819  | l  | Ecoinvent v2       |
| <b>EMISSÕES PARA O AR</b>                       |             |    |                    |
| Benzeno   | 5,1468E-06  | kg | Ecoinvent v2       |
| Etil-benzeno                                    | 1,2867E-06  | kg | Ecoinvent v2       |
| Butano  | 0,000051468 | kg | Ecoinvent v2       |
| Buteno  | 1,2867E-06  | kg | Ecoinvent v2       |
| Etano   | 0,000012867 | kg | Ecoinvent v2       |
| Eteno   | 2,5734E-06  | kg | Ecoinvent v2       |
| Heptano   | 0,000012867 | kg | Ecoinvent v2       |
| Hexano  | 0,000025734 | kg | Ecoinvent v2       |
| Hidrocarbonetos alifáticos                      | 4,3018E-11  | kg | Ecoinvent v2       |
| Hidrocarbonetos alifáticos insaturados          | 2,3622E-12  | kg | Ecoinvent v2       |
| Hidrocarbonetos aromáticos                      | 6,4527E-13  | kg | Ecoinvent v2       |
| Metano  | 0,000038409 | kg | Ecoinvent v2       |
| Particulados                                    | 9,6023E-06  | kg | Ecoinvent v2       |
| Pentano   | 0,000064335 | kg | Ecoinvent v2       |
| Propano   | 0,000051468 | kg | Ecoinvent v2       |
| Propeno   | 2,5734E-06  | kg | Ecoinvent v2       |
| Tolueno   | 7,7202E-06  | kg | Ecoinvent v2       |
| Xileno  | 5,1468E-06  | kg | Ecoinvent v2       |
| Geração de calor                                | 0,036095    | MJ | Ecoinvent v2       |
| Dióxido de enxofre                              | 0,00011678  | kg | Ecoinvent v2       |
| <b>EMISSÕES PARA A ÁGUA</b>                     |             |    |                    |
| Alumínio  | 1,2225E-08  | kg | Ecoinvent v2       |
| Bário   | 2,4451E-08  | kg | Ecoinvent v2       |
| Boro  | 9,7422E-08  | kg | Ecoinvent v2       |
| Cálcio  | 0,000012225 | kg | Ecoinvent v2       |
| Cloreto   | 0,000019389 | kg | Ecoinvent v2       |
| Cianeto   | 4,2312E-08  | kg | Ecoinvent v2       |
| Fluoreto  | 1,0888E-06  | kg | Ecoinvent v2       |
| Hidrocarbonetos aromáticos                      | 1,7574E-07  | kg | Ecoinvent v2       |
| Ferro   | 1,2225E-07  | kg | Ecoinvent v2       |
| Magnésio  | 6,1032E-06  | kg | Ecoinvent v2       |
| Manganês  | 4,8806E-08  | kg | Ecoinvent v2       |
| Mercurio  | 2,4451E-11  | kg | Ecoinvent v2       |
| Molibdênio                                      | 2,4451E-09  | kg | Ecoinvent v2       |
| Nitrato   | 2,0057E-06  | kg | Ecoinvent v2       |
| Fósforo   | 9,4556E-08  | kg | Ecoinvent v2       |
| Potássio  | 2,4451E-06  | kg | Ecoinvent v2       |
| Selênio   | 3,6581E-09  | kg | Ecoinvent v2       |
| Prata   | 1,2225E-08  | kg | Ecoinvent v2       |
| Sódio   | 0,000073257 | kg | Ecoinvent v2       |
| Sulfeto   | 2,4451E-08  | kg | Ecoinvent v2       |
| Sólidos suspensos                               | 2,4451E-06  | kg | Ecoinvent v2       |
| Tolueno   | 2,4355E-07  | kg | Ecoinvent v2       |
| Xileno  | 2,4451E-08  | kg | Ecoinvent v2       |
| Vanádio   | 1,2703E-08  | kg | Ecoinvent v2       |
| Zinco   | 7,3162E-08  | kg | Ecoinvent v2       |
| Amônia  | 7,3892E-07  | kg | Ecoinvent v2       |
| AOX, Orgânicos halogênicos adsorvidos como o Cl | 3,535E-09   | kg | Ecoinvent v2       |
| PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons           | 3,535E-09   | kg | Ecoinvent v2       |
| Sulfato de ferro                                | 0,000044713 | kg | Ecoinvent v2       |
| Benzeno   | 8,6975E-09  | kg | Ecoinvent v2       |
| PAH, Policíclicos aromáticos hidrocarbonetos    | 6,1513E-09  | kg | Ecoinvent v2       |
| Sulfito   | 3,885E-08   | kg | Ecoinvent v2       |
| Arsênico  | 2,6618E-09  | kg | Ecoinvent v2       |

(continua)

(continuação)

| PRODUTO  |            |    |              |
|--|------------|----|--------------|
| Gás Natural Brasil   | 1          | kg | Fonte        |
| <b>EMISSIONES PARA A ÁGUA</b>                              |            |    |              |
| Cádmio   | 2,6618E-09 | kg | Ecoinvent v2 |
| Cromo  | 5,9371E-08 | kg | Ecoinvent v2 |
| Cobre  | 2,6618E-09 | kg | Ecoinvent v2 |
| Chumbo   | 8,4014E-08 | kg | Ecoinvent v2 |
| Níquel   | 3,504E-09  | kg | Ecoinvent v2 |
| Estrôncio  | 1,8612E-07 | kg | Ecoinvent v2 |
| BOD5, Demanda biológica de oxigênio                        | 7,8331E-07 | kg | Ecoinvent v2 |
| DOC, Carbono orgânico dissolvido                           | 7,6397E-09 | kg | Ecoinvent v2 |
| TOC, Carbono orgânico total                                | 3,0897E-06 | kg | Ecoinvent v2 |
| Nitrogênio   | 7,7409E-06 | kg | Ecoinvent v2 |
| Óleos  | 1,5534E-06 | kg | Ecoinvent v2 |
| Fenol  | 7,0628E-08 | kg | Ecoinvent v2 |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                              |            |    |              |
| Lodo de refinaria, 89.5% água, aterro sanitário            | 0,00017956 | kg | Ecoinvent v2 |
| Lodo de refinaria, 89.5% água, incineração                 | 0,00019102 | kg | Ecoinvent v2 |
| Conversor catalítico de redução de Nox, aterro subterrâneo | 9,3011E-07 | kg | Ecoinvent v2 |

O gás natural é largamente utilizado na indústria para a geração de eletricidade e, seu consumo ocorre primeiramente com a sua queima e depois com a sua geração de calor, transmitindo a eletricidade para as indústrias.

Para o inventário de queima do gás natural, foi considerado o inventário já existente na base de dados do *Ecoinvent v2*, que considera a média europeia, com adaptação para o inventário brasileiro de processo de obtenção do gás natural, e o inventário de energia elétrica do Brasil.

Já para o inventário de geração de calor, foi considerado o inventário já existente na base de dados do *Ecoinvent v2* média europeia com adaptação para o inventário brasileiro de queima do gás natural, Tabela 5.15

Os demais aspectos ambientais do inventário do gás natural brasileiro foram mantidos sem modificações.

Tabela 5.15: Inventário da queima do gás natural brasileiro.

| PRODUTO                                 |             |     |                    |
|---|-------------|-----|--------------------|
| Queima do gás natural                   | 1           | MJ  | Fonte              |
| <b>MATERIAIS</b>                        |             |     |                    |
| Gás Natural Brasil                      | 0,0377      | kg  | Modelado           |
| Eletricidade, média voltagem, Brasil    | 0,0008578   | kWh | Energia brasileira |
| Forno industrial 1MW                    | 2,465E-09   | p   | Ecoinvent v2       |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>             |             |     |                    |
| Geração de calor                        | 1,0955      | MJ  | Ecoinvent v2       |
| Acetaldeído                             | 0,00000015  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Acetona                                 | 0,00000015  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Amônia                                  | 0,00000001  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Hidrocarbonetos alifáticos              | 0,00000006  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Hidrocarbonetos alifáticos, insaturados | 0,00000003  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Hidrocarbonetos aromáticos              | 0,00000015  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Arsênio                                 | 0,000000013 | kg  | Ecoinvent v2       |
| Banzopireno                             | 2,8E-11     | kg  | Ecoinvent v2       |
| Cálcio                                  | 0,00000008  | kg  | Ecoinvent v2       |
| Cádmio                                  | 0,000000033 | kg  | Ecoinvent v2       |
| Metano                                  | 0,000003    | kg  | Ecoinvent v2       |
| Cobalto                                 | 0,000000033 | kg  | Ecoinvent v2       |
| Monóxido de carbono                     | 0,000007    | kg  | Ecoinvent v2       |

(continua)

(continuação)

| PRODUTO   |             |    |              |
|---|-------------|----|--------------|
| Queima do gás natural                           | 1           | MJ | Fonte        |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>                     |             |    |              |
| Dióxido de carbono                              | 0,0779      | kg | Ecoinvent v2 |
| Cromo   | 1,584E-08   | kg | Ecoinvent v2 |
| Cromo IV  | 1,6E-10     | kg | Ecoinvent v2 |
| Cobre   | 0,000000049 | kg | Ecoinvent v2 |
| Ácido Acético                                   | 0,0000006   | kg | Ecoinvent v2 |
| Etanol  | 0,0000003   | kg | Ecoinvent v2 |
| Ferro   | 0,00000018  | kg | Ecoinvent v2 |
| Formaldeído                                     | 0,00000045  | kg | Ecoinvent v2 |
| Cloro de hidrogênio                             | 0,00000144  | kg | Ecoinvent v2 |
| Fluoreto de hidrogênio                          | 0,00000144  | kg | Ecoinvent v2 |
| Mercurio  | 1,5E-10     | kg | Ecoinvent v2 |
| Metanol   | 0,00000051  | kg | Ecoinvent v2 |
| Molibdênio                                      | 0,000000016 | kg | Ecoinvent v2 |
| Monóxido de dinitrogênio                        | 0,0000016   | kg | Ecoinvent v2 |
| Sódio   | 0,00000075  | kg | Ecoinvent v2 |
| Níquel  | 0,00000065  | kg | Ecoinvent v2 |
| Oxidos de nitrogênio                            | 0,0001      | kg | Ecoinvent v2 |
| PAH, policíclicos aromáticos de hidrocarbonetos | 5,8E-10     | kg | Ecoinvent v2 |
| Particulados < 2.5 um                           | 0,000035    | kg | Ecoinvent v2 |
| Particulados > 2.5 um, and < 10um               | 0,000005    | kg | Ecoinvent v2 |
| Particulados > 10 um                            | 0,00001     | kg | Ecoinvent v2 |
| Chumbo  | 0,000000057 | kg | Ecoinvent v2 |
| Propano   | 0,00000003  | kg | Ecoinvent v2 |
| Selênio   | 0,000000012 | kg | Ecoinvent v2 |
| Dióxido de enxofre                              | 0,0004      | kg | Ecoinvent v2 |
| Tolueno   | 0,00000003  | kg | Ecoinvent v2 |
| Vanádio   | 0,0000026   | kg | Ecoinvent v2 |
| Zinco   | 0,00000004  | kg | Ecoinvent v2 |

### 5.2.3 Transporte

De acordo com a Figura 5.1 e a Figura 5.2, há três diferentes tipos de transporte para as etapas de fabricação das matérias-primas dos sabonetes em barra e líquido, sendo eles:

- transporte transoceânico;
- transporte por barcaça;
- transporte rodoviário.

Para o transporte transoceânico, foram utilizados os inventários encontrados diretamente na base de dados do *Ecoinvent v2*, sendo eles de dois tipos:

- Transporte transoceânico petroleiro: adotou-se esse tipo de transporte quando se tratava de transporte de petróleo, por se tratar de um navio tipo petroleiro;
- Transporte transoceânico por containers: adotou-se esse tipo de transporte por quando se tratava de transporte de matérias-primas, por se tratar de um navio tipo cargueiro.

Para o transporte por barcaça, utilizou-se como referência o inventário com média europeia, adaptando-o para as condições brasileira, a partir da também adaptação do inventário de operação de barcaças, por meio da substituição do inventário

de diesel para o inventário de diesel brasileiro, anteriormente explicado, Tabela 5.16 e Tabela 5.17.

**Tabela 5.16: Inventário da operação por barcaça cenário brasileiro.**

| PRODUTO  |             |     |                            |
|--|-------------|-----|----------------------------|
| Operação por barcaça   | 1           | tkm | 100                        |
| <b>MATERIAIS</b>   |             |     |                            |
| Diesel brasileiro  | 0,00939     | kg  | Diesel brasileiro modelado |
| <b>EMISSÕES PARA O AR</b>                                      |             |     |                            |
| Amônia   | 0,00000487  | kg  | Ecoinvent v2               |
| Benzeno  | 0,00000178  | kg  | Ecoinvent v2               |
| Benzopireno  | 7,24E-14    | kg  | Ecoinvent v2               |
| Cádmio   | 9,39E-11    | kg  | Ecoinvent v2               |
| Dióxido de carbono   | 0,0296      | kg  | Ecoinvent v2               |
| Monóxido de carbono  | 0,0000254   | kg  | Ecoinvent v2               |
| Cromo  | 4,7E-10     | kg  | Ecoinvent v2               |
| Cobre  | 0,00000016  | kg  | Ecoinvent v2               |
| Monóxido de dinitrogênio                                       | 0,00000311  | kg  | Ecoinvent v2               |
| Geração de calor   | 0,402       | MJ  | Ecoinvent v2               |
| Cloro de hidrogênio  | 9,95E-09    | kg  | Ecoinvent v2               |
| Chumbo   | 1,88E-10    | kg  | Ecoinvent v2               |
| Mercurio   | 6,58E-13    | kg  | Ecoinvent v2               |
| Metano   | 0,000000225 | kg  | Ecoinvent v2               |
| Níquel   | 6,58E-10    | kg  | Ecoinvent v2               |
| Oxido de nitrogênio  | 0,00047     | kg  | Ecoinvent v2               |
| NM VOC, Compostos orgânicos voláteis não-metano                | 0,00000939  | kg  | Ecoinvent v2               |
| Particulados < 2.5 um  | 0,00000867  | kg  | Ecoinvent v2               |
| Particulados > 2.5 um, and < 10um                              | 0,000000371 | kg  | Ecoinvent v2               |
| Particulados > 10 um   | 0,000000723 | kg  | Ecoinvent v2               |
| Selênio  | 9,39E-11    | kg  | Ecoinvent v2               |
| Dióxido de enxofre   | 0,00000564  | kg  | Ecoinvent v2               |
| Tolueno  | 7,52E-08    | kg  | Ecoinvent v2               |
| Xileno   | 7,52E-08    | kg  | Ecoinvent v2               |
| Zinco  | 9,39E-09    | kg  | Ecoinvent v2               |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                                  |             |     |                            |
| Porão de petróleo, 90% água, incineração de resíduos perigosos | 0,000047    | kg  | Ecoinvent v2               |

**Tabela 5.17: Inventário do transporte por barcaça brasileiro.**

| PRODUTO                           |          |     |                        |
|-----------------------------------|----------|-----|------------------------|
| Transporte por barcaça brasileiro | 1        | tkm | 100                    |
| <b>MATERIAIS</b>                  |          |     |                        |
| Operação por barcaça brasileiro   | 1        | tkm | Modelado para o Brasil |
| Barcaça                           | 1,05E-09 | p   | Ecoinvent v2           |
| Manutenção                        | 1,05E-09 | p   | Ecoinvent v2           |
| Facilidades do porto              | 2,54E-14 | p   | Ecoinvent v2           |
| Operador de manutenção do porto   | 2,54E-12 | p   | Ecoinvent v2           |
| Canal                             | 0,000116 | my  | Ecoinvent v2           |
| Operador de manutenção do canal   | 0,000116 | my  | Ecoinvent v2           |

Os demais aspectos ambientais do inventário do transporte por barcaça brasileiro foram mantidos sem modificações.

Para o transporte rodoviário, utilizou-se um inventário genérico do *Ecoinvent*, que considera um caminhão com capacidade média de 10 toneladas, sistema ida – cheio e volta-vazio, adaptando-o para as condições brasileiras, uma vez que esse inventário leva em consideração condições geográficas (topografia acidentada) e tecnológicas europeias, contrabalanceando-as com as mesmas variáveis brasileiras,

ou seja, topografia média plana, porém tecnologias de combustão e controle de poluição menos avançadas.

Portanto, fez-se uma adaptação do inventário de operação rodoviária desse caminhão, por meio da substituição do inventário de diesel para o inventário de diesel brasileiro, anteriormente explicado, Tabela 5.18 e Tabela 5.19.

Os demais aspectos ambientais do inventário do transporte rodoviário brasileiro foram mantidos sem modificações.

**Tabela 5.18: Inventário da operação do transporte rodoviário brasileiro.**

| PRODUTO   | 1  | km | Fonte                                  |
|---|--|----|--|
| <b>Operação do transporte rodoviário brasileiro</b> |  |    |  |
| <b>MATERIAIS</b>                                    |  |    |  |
| Diesel brasileiro                                   | 0,34136                                      | kg | Diesel brasileiro                      |
| <b>EMISSÕES PARA O AR</b>                           |  |    |  |
| Etano Tetrafluor                                    | 0,00000229                                   | kg | Ecoinvent v2                           |
| Dióxido de Carbono                                  | 0,84822*diesel                               | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Dióxido de Carbono                                  | 0,34136*biod*0,1                             | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Dióxido de Carbono Biogênico                        | 0,34136*biod*0,9                             | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Dióxido de enxofre                                  | 0,000026764*diesel*1,275                     | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Cádmio  | 0,000000032158*diesel                        | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Cobre   | 0,0000020984*diesel                          | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Cromo   | 0,00000036308*diesel                         | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Níquel  | 0,00000035063*diesel                         | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Zinco   | 0,00000087571*diesel                         | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Chumbo  | 0,0000010485*diesel                          | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Selênio   | 0,000000026764*diesel                        | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Mercurio  | 0,00000000053528*diesel                      | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Cromo IV  | 0,0000000026764*diesel                       | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Monóxido de carbono                                 | 0,0017262*diesel                             | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Oxidos de nitrogênio                                | 0,0088666*diesel                             | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Particulados < 2,5 um                               | 0,00025704*diesel                            | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Particulados > 2,5 um, and < 10um                   | 0,00005664*diesel                            | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Particulados > 10 um                                | 0,00006228*diesel                            | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Particulados  | (0,00025704+0,00005664+0,00006228)*biod*0,45 | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| NMVO, Compostos orgânicos voláteis não-metano       | 0,00021902*diesel                            | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| NMVO, Compostos orgânicos voláteis não-metano       | 0,00021902*0,65*biod                         | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Metano  | 0,000076687*diesel                           | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Benzeno   | 0,0000000015331*diesel                       | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Tolueno   | 0,00000000021902*diesel                      | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Xileno  | 0,0000000019273*diesel                       | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Formaldeído   | 0,000000018397*diesel                        | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Acetaldeído   | 0,000000010009*diesel                        | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Amônia  | 0,000005*diesel                              | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Monóxido de dinitrogênio                            | 0,00003*diesel                               | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| PAH, Policíclicos aromáticos hidrocarbonetos        | 0,000000001*diesel                           | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Geração de calor                                    | 12,151*diesel                                | MJ | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| <b>EMISSÕES PARA A ÁGUA</b>                         |  |    |  |
| Zinco   | 0,000005484*diesel                           | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Cobre   | 0,0000012995*diesel                          | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Cádmio  | 0,000000019418*diesel                        | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Cromo   | 0,000000092607*diesel                        | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Níquel  | 0,00000025094*diesel                         | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Chumbo  | 0,00000079911*diesel                         | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| <b>EMISSÕES PARA O SOLO</b>                         |  |    |  |
| Zinco   | 0,000005484*diesel                           | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Cobre   | 0,0000012995*diesel                          | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Cádmio  | 0,000000019418*diesel                        | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Cromo   | 0,000000092607*diesel                        | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Níquel  | 0,00000025094*diesel                         | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |
| Chumbo  | 0,00000079911*diesel                         | kg | Emissões Diesel e Biodiesel Brasileiro |

**Tabela 5.19: Inventário da etapa de transporte rodoviário brasileiro.**

| PRODUTO                                      | 1          | tkm | 100          |
|--|------------|-----|--------------|
| <b>Transporte rodoviário brasileiro</b>      |            |     |              |
| <b>MATERIAIS</b>                             |            |     |              |
| Operação do transporte rodoviário brasileiro | 0,1        | km  | Calculado    |
| Caminhão 40t                                 | 1,9469E-07 | p   | Ecoinvent v2 |
| Manutenção caminhão                          | 1,9469E-07 | p   | Ecoinvent v2 |
| Estrada                                      | 0,0012355  | my  | Ecoinvent v2 |
| Manutenção da estrada                        | 0,00013809 | my  | Ecoinvent v2 |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                |            |     |              |
| Disposição do caminhão                       | 1,9469E-07 | p   | Ecoinvent v2 |
| Disposição da estrada                        | 0,0012355  | my  | Ecoinvent v2 |



#### 5.2.4 Etapa de uso do sabonete pelo consumidor

Na etapa de uso dos sabonetes pelo consumidor considerou-se para esse estudo que os mesmos são utilizados domesticamente durante o banho, sendo o seu consumo atrelado ao consumo de água.

Durante o uso do sabonete pelo consumidor, determinado volume de água é requerido. Segundo dados do site da SABESP e de informações da empresa EC, o consumo de água de um brasileiro durante o banho é de cerca de 135 litros.

De acordo com DUARTE (2011), o chuveiro elétrico é uma das alternativas mais utilizadas no mercado brasileiro e, para o presente trabalho, foi o escolhido como modelo um chuveiro com o maior número de vendas em uma das grandes lojas de materiais para construção no Brasil, segundo o autor, com uma potência média de 5.500 W e tensão de alimentação de 220 V.

Segundo dados internos da empresa EC, o tempo médio de duração de um banho é em torno de 15 minutos e, de acordo com esses dados, um terço desse tempo é alocado à etapa de uso do sabonete pelo consumidor.

Para o presente trabalho, considerou-se que toda a água consumida durante a etapa de banho segue para um tratamento de esgoto de água residual.

Como na base de dados do *Ecoinvent v2*, não há nenhum inventário para a etapa de uso de produtos cosméticos, o inventário de etapa de uso do sabonete pelo consumidor para um banho, Tabela 5.20, foi modelado com base nas considerações acima e com as seguintes características:

- escolhido o inventário de água genérico para a comunidade europeia presente na base de dados do *Ecoinvent v2* e inserida a quantidade de 45 litros (correspondente a um terço do consumo total de banho, 135 litros), com a substituição da energia média europeia pela média brasileira (ilustrado na Tabela 5.21);
- escolhido o inventário de energia elétrica de baixa voltagem brasileiro já existente na base de dados do *Ecoinvent v2*, com a entrada de 0,465 kWh, a partir do seguinte cálculo:
  - $E = P \cdot t$ , sendo  $E$  = energia;  $P$  = potência e;  $t$  = tempo
  - $P = 5.500 \text{ W} = 5,5 \text{ kWh}$
  - $t = 5 \text{ min}$  (um terço do tempo total do banho de 15 min) = 0,083 h
  - $E = 5,5 * 0,083 = 0,465 \text{ kWh}$

- escolhido o inventário de tratamento de esgoto de águas residuais, modelo genérico, presente na base de dados do *Ecoinvent v2*, para realizar o tratamento da água utilizada durante o banho.

Tabela 5.20: Inventário da etapa de uso do sabonete cosmético.

| PRODUTO   |       |     |                                   |
|---|-------|-----|-----------------------------------|
| Etapa de uso  |       |     | Fonte                             |
| <b>MATERIAIS/ ENERGIA</b>                               |       |     |                                   |
| Energia brasileira                                      | 0,465 | kWh | Matriz de eletricidade brasileira |
| Água brasileira   | 45    | l   | Empresa EC                        |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                           |       |     |                                   |
| Esgoto, não poluído, para tratamento de águas residuais | 45    | l   | Ecoinvent v2                      |

Tabela 5.21: Inventário da água modelado para as condições brasileiras.

| PRODUTO   |             |     |  |
|---|-------------|-----|--|
| Água brasileira   | 1           | kg  | Fonte                                  |
| <b>RECURSOS</b>   |             |     |  |
| Água rio  | 0,00051303  | l   | Subsistema água com energia brasileira |
| Água lago   | 0,00020521  | kg  | Matriz de eletricidade brasileira      |
| Água chão   | 0,00041042  | l   | Ecoinvent v2                           |
| <b>MATERIAIS/ ENERGIA</b>                               |             |     |  |
| Energia brasileira                                      | 0,00039     | kWh | Matriz de eletricidade brasileira      |
| Cloro líquido   | 0,0000001   | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Peróxido de hidrogênio                                  | 0,00000088  | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Ozônio líquido  | 0,00000333  | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Carvão  | 0,00000417  | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Sulfato de alumínio em pó                               | 0,00000633  | kg  | Ecoinvent v2                           |
| <b>EMISSÕES PARA O AR</b>                               |             |     |  |
| Geração de calor  | 0,001404    | MJ  | Ecoinvent v2                           |
| <b>EMISSÕES PARA A ÁGUA</b>                             |             |     |  |
| Alumínio  | 1,2948E-06  | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Cloro   | 0,0000001   | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Cloroeto  | 5,0352E-06  | kg  | Ecoinvent v2                           |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                           |             |     |  |
| Madeira não tratada, 20% água, incineração municipal    | 0,00000417  | kg  |  |
| Esgoto, não poluído, para tratamento de águas residuais | 0,000017676 | m3  | Ecoinvent v2                           |

### 5.2.5 Matérias-primas do sabonete em barra

As etapas que envolvem a produção das matérias-primas de um sabonete cosmético em barra podem ser visualizadas na Figura 5.1. A Tabela 5.22 ilustra todos os insumos que compõem um sabonete em barra. A tabela está em ordem decrescente de composição, sendo o primeiro componente da tabela o de maior concentração.

O rendimento do processo de fabricação de um sabonete em barra para a empresa EC é em torno de 80% e, esse rendimento foi considerado no projeto. As matérias-primas estão representadas em quantidade em kg para a fabricação de 1 kg de sabonete em barra.

As matérias-primas destacadas em verde na Figura 5.1 e na Tabela 5.22 tiveram os seus ICV's realizados por representarem quase 98% da composição de um sabonete em barra, tendo sido utilizado o critério mássico para esse corte.

Para as matérias-primas em azul, adaptaram-se suas produções para as condições brasileiras, como por exemplo, substituição da matriz energética pela matriz energética brasileira.

As matérias-primas em cinza tiveram pouca representatividade mássica e seus valores foram obtidos diretamente na base de dados do *Ecoinvent*.

**Tabela 5.22: Composição em kg para a fabricação de 1 kg de sabonete em barra (adaptada de dados internos da empresa EC).**

| Sabonete em Barra |   | Composição (kg) |
|-------------------|---|-----------------|
| MATÉRIAS-PRIMAS   | Óleo de Palma                               | 0,594           |
|                   | Soda Cáustica Líquida (50% em ativo)        | 0,251           |
|                   | Óleo de Palmiste                            | 0,152           |
|                   | Lauril Sulfato de Sódio LESS (27% em ativo) | 0,10            |
|                   | Água desmineralizada                        | 0,10            |
|                   | Essência                                    | 0,015           |
|                   | Branqueador Óptico                          | 0,0085          |
|                   | B.H.T.                                      | 0,0085          |
|                   | Ácido Etidrônico                            | 0,006           |
|                   | EDTA Tetrassódico                           | 0,006           |

O material de embalagem que compõe um sabonete em barra da empresa EC é dado pelo filme de BOPP. Para ilustração da composição da embalagem do sabonete em barra tem-se a Tabela 5.23.

O processo de produção dessa embalagem possui rendimento de 95% e a tabela ilustra a quantidade de polipropileno necessária para a produção de 1 kg de embalagem do sabonete em barra.

**Tabela 5.23: Composição em kg de filme de BOPP para a fabricação de 1 kg de embalagem do sabonete em barra (adaptada de dados internos da empresa EC).**

| Sabonete em Barra     |               | Composição (kg) |
|-----------------------|---------------|-----------------|
| MATERIAL DE EMBALAGEM | Filme de BOPP | 1,05            |

Para facilitar a realização do ICV das matérias-primas do sabonete em barra, dividiram-se essas matérias-primas e o material de embalagem em seis grupos, sendo o último o ICV do próprio sabonete em barra:

- massa de sabonete (óleo de palma, óleo de palmiste (conhecidos como gordura de palma), soda cáustica e água);
- Lauril Éter Sulfato de Sódio (LESS);
- fragrância;
- branqueador Óptico, ácido Etilenodiamino tetra-acético (EDTA) Tetrasódico, ácido Etidrônico e butylated-hydroxy-toluene (B.H.T.);
- filme de BOPP;
- sabonete em barra (todos os outros componentes alocados com a quantidade correta e o modelo de descarte da embalagem).

Os subsistemas estão representados para a unidade de 1 kg de cada material e, quando feito o subsistema de um sabonete em barra, as quantidades corretas de composição foram consideradas, como na Tabela 5.22 e Tabela 5.23.

#### 5.2.5.1 Massa de sabonete

A massa base para a preparação de sabonetes é a matéria-prima mais importante da sua composição. Como descrito na Pesquisa Bibliográfica, ela pode ser de origem vegetal ou animal e, para o presente trabalho, a massa de origem vegetal foi escolhida por ser a principal massa base da empresa EC.

O óleo utilizado pela empresa EC para a composição dos seus sabonetes em barra é a mistura de óleo de palma e palmiste, chamado de gordura de palma, devido as suas excelentes propriedades de limpeza, facilidade em serem saponificados e principalmente por conferirem dureza ideal e adequada ao sabonete final, um aspecto muito importante para a etapa de uso do produto.

Posteriormente, esse óleo passa por um processo de saponificação com a soda cáustica e tem-se, finalmente, a massa base para sabonetes, o chamado *no-odle*, produzido.

O sistema da massa de sabonetes foi modelado com base em entrevistas nas indústrias fornecedoras da empresa EC e, quando algum dado não foi possível de ser obtido, ele foi extraído de literaturas especializadas como trabalhos acadêmicos já realizados sobre determinado material, relatórios de referência como o do Ministério da Agricultura e/ou base de dados do *Ecoinvent v2*.

### Gordura de Palma para massa de sabonete

A gordura de palma para massa de sabonete é produzida em uma unidade industrial de uma empresa, que será nomeada nesse trabalho como AP, localizada no estado do Pará, a partir de óleos vegetais e, sua composição é dada pela mistura do óleo de palma e do óleo de palmiste.

Esses produtos são extraídos do fruto da palma que no Brasil também é conhecida como dendezeiro (*Elaeis guineensis*). Do mesocarpo do fruto se extrai o óleo de palma, enquanto da amêndoa do fruto se extrai o óleo de palmiste. A produção de gordura de palma para massa de sabonete pode ser dividida em duas principais etapas: Etapa Agrícola e Etapa Industrial.

A implantação de um dendezeiro implica em alguns trabalhos preparatórios, como levantamento topográfico, determinação da área a ser plantada e derrubada, queima da vegetação existente para a limpeza do terreno e abertura de caminhos para construção de estradas de serviço.

Feito isso, a primeira etapa agrícola para implantação do dendezeiro consiste na produção de mudas, que compreende a germinação de sementes, etapa do pré-viveiro e o viveiro. É na etapa do viveiro que ocorre a principal entrada de água para irrigação do dendezeiro.

A segunda etapa da fase agrícola é o plantio definitivo, que é realizado na época mais chuvosa do ano, que, no caso da região Amazônica, compreende o intervalo de janeiro a maio. Nessa etapa, tem-se que as primeiras entradas são o controle fitossanitário das plantas para verificar o aparecimento de pragas e doenças e garantir a correta adubação do solo.

Os dados da quantidade de fertilizantes utilizada para essa etapa foram obtidos diretamente no relatório do Ministério da Agricultura, ano de 2011. Observa-se que essas são as únicas entradas no processo, uma vez que não ocorre irrigação do dendezeiro no período do plantio, pois se trata de um clima úmido e chuvoso na região, o que regula a quantidade necessária de água no dendezeiro.

A colheita é a última etapa agrícola, sendo a mais importante e delicada de uma plantação em produção, pois dela dependem a quantidade e a qualidade do óleo que será extraído posteriormente. Ela é feita de forma manual e praticada durante todo o ano. Após a colheita, os frutos são levados por caminhão até o primeiro processamento industrial, percorrendo 50 km.

Na empresa AP a plantação de palma é localizada no município de Tailândia/PA, onde também é realizada a primeira etapa industrial, que consiste em colocar os cachos colhidos em esterilizadores, onde são submetidos a aquecimento por contato direto com o vapor.

Esses cachos esterilizados são levados para o debulhador, onde os frutos são separados e, em seguida encaminhados para o digestor, onde os cachos vazios são recolhidos e utilizados como adubo nas plantações orgânicas.

Finalmente, os frutos são submetidos a um processo de cozimento e fricção mecânica, onde é acrescentada a água para que o óleo de dendê seja extraído, tendo-se assim o óleo bruto de palma, o qual é transportado por via fluvial (200 km) até a própria refinaria da empresa, localizada no município de Belém/PA.

As nozes que restaram na prensa são, então, quebradas para separar as cascas das amêndoas e, essas últimas, são trituradas e prensadas para a obtenção do óleo de palmiste.

Ao chegar a Belém/PA, o óleo bruto de palma passa pelo processo de refinação do tipo físico, que consiste basicamente em três operações básicas: degomagem, branqueamento e deacidificação. Após a passagem por esses processos, obtêm-se o óleo de palma refinado.

Para o inventário da gordura de palma, foram adaptados seis inventários da base de dados *Ecoinvent v2* para as condições brasileiras. Essa base de dados para o óleo de palma e o óleo de palmiste foi compilada com os dados da Malásia e é sabido que o processo de produção desses óleos tanto na Malásia como no Brasil não são muito distintos, mas alguns dados de rendimento do processo, correção do solo, irrigação entre outros são um pouco diferentes e, por isso, essas informações foram contempladas no inventário realizado para a gordura de palma e modificadas no inventário da Malásia, tornando-se o novo inventário brasileiro.

Para a produção de 1 kg de cachos de fruto de palma, utilizou-se o inventário já existente no *Ecoinvent v2* para a Malásia, com as seguintes adaptações para o cenário brasileiro:

- substituição do inventário de transformação da terra da Malásia para o inventário de transformação da terra brasileiro já existente no SIMAPRO. A substituição para o inventário brasileiro de transformação da terra remete a uma média de transformação da terra de floresta primária

ria para a região da América do Sul e, portanto, muito mais próximo da realidade do Brasil;

- atualização dos dados de inventário para a ocupação da floresta, que foram obtidos diretamente com a empresa AP, uma vez que uma árvore de palma tem a vida útil de aproximadamente 27 anos e produtividade de 25 toneladas de cachos de frutos por ano para a área de 1 ha. Sendo assim, ao longo de toda a sua vida, uma árvore de dendê produzirá ao todo 675 (25\*27) toneladas de cachos de fruto por 1 ha (10.000 m<sup>2</sup>). Logo, para 1 kg de cachos de fruto são necessários (675.10<sup>3</sup>/10.000) 0,014815 m<sup>2</sup> de área, valor utilizado como entrada no inventário de transformação da terra brasileiro. Em seguida, os valores de entrada dos recursos naturais do inventário de cachos de frutos de palma, como teor de matéria orgânica no solo, energia do poder calorífico da biomassa, área de transformação da floresta, que não foram possíveis de serem obtidos com a empresa AP, tiveram seus valores corrigidos para essa nova área de ocupação;
- substituição do inventário de irrigação da etapa agrícola que corresponde a uma média de irrigação por hectare da Europa para um novo inventário brasileiro, que modificou em suas entradas os dados de diesel brasileiro e a energia elétrica brasileira;
- atualização dos dados de irrigação: a entrada de água na plantação da palma só ocorre na etapa do pré-plantio e esse dado foi obtido diretamente na empresa AP. A informação fornecida foi que durante esse período do pré-plantio é utilizada a quantidade de 8 litros de água por m<sup>2</sup> por dia na plantação. Como esse período tem uma duração média de um ano, tem-se, portanto, o consumo de (8\*365) 2920 litros de água por ano por m<sup>2</sup> de plantação. Como mencionado no item anterior, para 1 kg de cachos de fruto de dendê é necessário 0,014815 m<sup>2</sup> de área de plantação, logo, multiplicando-se essa área pelo valor do consumo de água (2920 litros), obtém-se a quantidade de água necessária para 1 kg de cachos de fruto, 43,26 litros de água ou 0,04326 m<sup>3</sup> de água, Tabela 5.24;

- atualização dos dados de fertilizantes: a quantidade de fertilizantes utilizada para a obtenção de 1 kg de cachos de fruto de palma foi obtida diretamente no relatório do ano de 2011 do Ministério da Agricultura do Brasil para a plantação de palma e, tem como valores: Sulfato de Amônio (0,00975 kg), Fosfato de Diamônio (0,00132 kg) e Cloreto de Potássio (0,01272 kg);
- substituição do inventário de transporte rodoviário para o inventário rodoviário brasileiro já detalhado anteriormente;
- atualização da distância percorrida: após a colheita dos cachos de fruto de palma ocorre o seu transporte rodoviário pela distância de 50 km.

Os demais dados de entrada presentes na base de dados do *Ecoinvent v2* para cachos de fruto de palma assim como os dados presentes de emissões atmosféricas, efluentes líquidos e emissões para o solo, não foram modificados na base de dados do *Ecoinvent v2*. A Tabela 5.25 ilustra o inventário dos cachos de frutos de palma.

**Tabela 5.24: Inventário de irrigação brasileiro para a plantação da palma.**

| PRODUTO   |  |             |           |                                   |
|---|--|-------------|-----------|-----------------------------------|
| <b>Irrigação brasileira</b>                     |  | <b>1</b>    | <b>ha</b> | <b>Fonte</b>                      |
| <b>RECURSOS</b>                                 |  |             |           |                                   |
| Água rio  |  | in water    | 1200      | m3                                |
| Ocupação da terra                               |  | land        | 6,67      | m2a                               |
| <b>MATERIAS</b>                                 |  |             |           |                                   |
| Trator, produção                                |  | 0,458       | kg        | Sessão normal                     |
| Maquinário agricultura                          |  | 21,7        | kg        | Sessão normal                     |
| Diesel brasileiro                               |  | 3,78        | kg        | Sessão normal                     |
| Armazém   |  | 0,0589      | m2        | Sessão normal                     |
| Poliétileno de alta densidade                   |  | 23,1        | kg        | Sessão normal                     |
| Extrusão do plástico                            |  | 24,2        | kg        | Sessão normal                     |
| Escavação hidráulica                            |  | 4           | m3        | Sessão normal                     |
| Ferro fundido na planta                         |  | 4,27        | kg        | Sessão normal                     |
| Eletricidade, média voltagem, Brasil            |  | 876         | kWh       | Matriz de eletricidade brasileira |
| Policloreto de vinila                           |  | 1,12        | kg        | Sessão normal                     |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>                     |  |             |           |                                   |
| NM VOC, Compostos orgânicos voláteis não-metano |  | 0,0165      | kg        | Ecoinvent v2                      |
| Oxidos de nitrogênio                            |  | 0,193       | kg        | Ecoinvent v2                      |
| Monóxido de carbono                             |  | 0,0363      | kg        | Ecoinvent v2                      |
| Dióxido de carbono                              |  | 11,7        | kg        | Ecoinvent v2                      |
| Dióxido de enxofre                              |  | 0,00381     | kg        | Ecoinvent v2                      |
| Metano  |  | 0,000488    | kg        | Ecoinvent v2                      |
| Benzeno   |  | 0,0000276   | kg        | Ecoinvent v2                      |
| Particulados                                    |  | 0,0156      | kg        | Ecoinvent v2                      |
| Cádmio  |  | 3,78E-08    | kg        | Ecoinvent v2                      |
| Cromo   |  | 0,00000189  | kg        | Ecoinvent v2                      |
| Cobre   |  | 0,00000643  | kg        | Ecoinvent v2                      |
| Monóxido de dinitrogênio                        |  | 0,000454    | kg        | Ecoinvent v2                      |
| Níquel  |  | 0,00000265  | kg        | Ecoinvent v2                      |
| Zinco   |  | 0,00000378  | kg        | Ecoinvent v2                      |
| Benzopireno                                     |  | 0,000000113 | kg        | Ecoinvent v2                      |
| PAH, policíclicos aromáticos de hidrocarbonetos |  | 0,0000124   | kg        | Ecoinvent v2                      |
| Geração de calor                                |  | 3330        | MJ        | Ecoinvent v2                      |
| Amônia  |  | 0,0000756   | kg        | Ecoinvent v2                      |
| Selênio   |  | 3,78E-08    | kg        | Ecoinvent v2                      |
| <b>EMISSIONES PARA O SOLO</b>                   |  |             |           |                                   |
| Zinco   |  | 0,00271     | kg        | Ecoinvent v2                      |
| Chumbo  |  | 0,0000053   | kg        | Ecoinvent v2                      |
| Cádmio  |  | 0,00000109  | kg        | Ecoinvent v2                      |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                   |  |             |           |                                   |
| Disposição de ferro, classificação vegetal      |  | 0,00427     | kg        | Sessão normal                     |
| Policloreto de vinila, disposição final         |  | 0,00112     | kg        | Sessão normal                     |
| Poliétileno/ Polipropileno, disposição final    |  | 0,00667     | kg        | Sessão normal                     |



Tabela 5.25: Inventário de cachos de fruto brasileiro para a plantação da palma.

| PRODUTO                                    |                        |           |  |
|--|------------------------|-----------|--|
| <b>Cachos de fruto de palma brasileiro</b> | <b>1</b>               | <b>kg</b> | <b>Fonte</b>                           |
| <b>RECURSOS</b>                            |                        |           |  |
| Dióxido de carbono                         | 1,14770000000000016*FC | kg        | Adaptado para as condições brasileiras |
| Energia da biomassa, poder calorífico      | 16,006*FC              | MJ        | Adaptado para as condições brasileiras |
| Teor de matéria orgânica, carbono no solo  | 0,025783*FC            | kg        | Adaptado para as condições brasileiras |
| Transformação da floresta, corte raso      | 0,016014*FC            | m2        | Adaptado para as condições brasileiras |
| Transformação da floresta, ciclo curto     | 0,016014*FC            | m2        | Adaptado para as condições brasileiras |
| Ocupação da floresta, ciclo curto          | ano*areanova           | m2a       | Adaptado para as condições brasileiras |
| <b>MATERIAIS</b>                           |                        |           |  |
| Sulfato de amônio                          | 0,00975                | kg        | Ministério da Agricultura (2010)       |
| Fosfato de diamônio                        | 0,00132                | kg        | Ministério da Agricultura (2010)       |
| Cloreto de potássio                        | 0,01272                | kg        | Ministério da Agricultura (2010)       |
| Dolomita                                   | 0,0032409              | kg        | Ecoinvent v2                           |
| Lima                                       | 0,0017215              | kg        | Ecoinvent v2                           |
| Irrigação brasileira                       | 0,043259259            | m3        | Irrigação brasileira (ha para m3)      |
| Pesticida                                  | 0,000807               | kg        | Ecoinvent v2                           |
| Fertilização                               | 0,00003363             | ha        | Ecoinvent v2                           |
| Aplicação de produtos fitofarmacêuticos    | 0,00003363             | ha        | Ecoinvent v2                           |
| Corte da madeira                           | 1,0858                 | kg        | Ecoinvent v2                           |
| Provisão brasileira da terra               | 0,014814815            | m2        | Dados fornecedor - Provisão da terra   |
| Transporte rodoviário brasileiro           | 50                     | kgkm      | Dados fornecedor - Transporte          |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>                |                        |           |  |
| Amônia                                     | 0,00050388             | kg        | Ecoinvent v2                           |
| Monóxido de dinitrogênio                   | 0,0002182              | kg        | Ecoinvent v2                           |
| Óxidos de nitrogênio                       | 0,000045822            | kg        | Ecoinvent v2                           |
| Dióxido de carbono                         | 0,094537               | kg        | Ecoinvent v2                           |
| <b>EMISSIONES PARA A ÁGUA</b>              |                        |           |  |
| Fósforo                                    | 7,7885E-06             | kg        | Ecoinvent v2                           |
| Fósforo                                    | 2,8025E-06             | kg        | Ecoinvent v2                           |
| Nitrato                                    | 0,0055787              | kg        | Ecoinvent v2                           |
| <b>EMISSIONES PARA O SOLO</b>              |                        |           |  |
| Cádmio                                     | 1,4474E-09             | kg        | Ecoinvent v2                           |
| Cromo                                      | 5,8458E-08             | kg        | Ecoinvent v2                           |
| Cobre                                      | -3,8334E-06            | kg        | Ecoinvent v2                           |
| Níquel                                     | 7,692E-08              | kg        | Ecoinvent v2                           |
| Chumbo                                     | 7,4806E-08             | kg        | Ecoinvent v2                           |
| Zinco                                      | -4,2174E-06            | kg        | Ecoinvent v2                           |
| 2,4-D                                      | 5,8403E-06             | kg        | Ecoinvent v2                           |
| Glifosato                                  | 0,000040473            | kg        | Ecoinvent v2                           |
| Carbonturano                               | 0,000020412            | kg        | Ecoinvent v2                           |
| Cypermethrin                               | 2,8822E-06             | kg        | Ecoinvent v2                           |
| Thiram                                     | 6,6054E-08             | kg        | Ecoinvent v2                           |
| Benomyl                                    | 3,7232E-08             | kg        | Ecoinvent v2                           |

Para a produção de 1 kg de óleo de palma, utilizou-se o inventário já existente no *Ecoinvent v2* com os dados da Malásia, com as seguintes adaptações para o cenário brasileiro:

- substituição do inventário de entrada de cachos de fruto de palma pelo modelo detalhado anteriormente;
- atualização da quantidade em kg de cachos de fruto de palma para a produção de 1 kg de óleo de palma. Segundo a empresa AP esse dado é em torno de 5,39 kg de cachos de fruto de palma;
- substituição do inventário de entrada de transporte por barcaça para o inventário detalhado anteriormente;
- atualização da quilometragem percorrida pelo barco para 200 km, dado da empresa AP;
- atualização da quantidade de água necessária para o processamento de 1 kg de óleo de palma para 1,3 kg de água, dado da empresa AP.

Os demais aspectos ambientais do inventário do óleo de palma brasileiro foram mantidos sem modificações. A Tabela 5.26 ilustra esse inventário.

Tabela 5.26: Inventário de óleo de palma brasileiro.

| PRODUTO   |             |           |              |
|---|-------------|-----------|--------------|
| <b>Óleo de palma brasileiro</b>                           | <b>1</b>    | <b>kg</b> | <b>Fonte</b> |
| <b>MATERIAIS</b>  |             |           |              |
| Cachos de fruto de palma brasileiro                       | 5,39        | kg        | Fornecedor   |
| Transporte por barcaça brasileiro                         | 5,39*200    | kgkm      | Fornecedor   |
| Óleo de moinho  | 8,3058E-10  | p         | Ecoinvent v2 |
| Água brasileira   | 1,3         | kg        | Fornecedor   |
| Hexano  | 0,0025345   | kg        | Ecoinvent v2 |
| Ácido fosfórico   | 0,00072931  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Amônia líquida  | 1,1113E-07  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Cloro líquido   | 0,00004445  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Cloreto de sódio  | 0,00055564  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Químicos orgânicos  | 0,00077789  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Óleo de lubrificação                                      | 0,00004445  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Água isenta de carbono                                    | 0,010665    | kg        | Ecoinvent v2 |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>                               |             |           |              |
| Geração de calor  | 17,50404389 | MJ        | Ecoinvent v2 |
| Hexano  | 0,0025345   | kg        | Ecoinvent v2 |
| Acetaldeído   | 8,2666E-07  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Amônia  | 0,000023581 | kg        | Ecoinvent v2 |
| Arsênico  | 1,3552E-08  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Benzeno   | 0,000011908 | kg        | Ecoinvent v2 |
| Etil-benzeno  | 3,9256E-07  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Hexacloro-benzeno   | 9,4217E-14  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Benzopireno   | 6,5427E-09  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Bromo   | 8,1313E-07  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Cádmio  | 9,4866E-09  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Cálcio  | 0,000079282 | kg        | Ecoinvent v2 |
| Monóxido de carbono biogênico                             | 0,000091602 | kg        | Ecoinvent v2 |
| Cloro líquido   | 2,4394E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Cromo   | 5,3665E-08  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Cromo IV  | 5,4207E-10  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Cobre   | 2,9815E-07  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Monóxido de dinitrogênio                                  | 0,00003117  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Fluor   | 6,776E-07   | kg        | Ecoinvent v2 |
| Formaldeído   | 1,7011E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Hidrocarbonetos alifáticos                                | 0,000011908 | kg        | Ecoinvent v2 |
| Hidrocarbonetos alifáticos insaturados                    | 0,000040564 | kg        | Ecoinvent v2 |
| Chumbo  | 3,3745E-07  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Magnésio  | 4,8923E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Manganês  | 2,3174E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Mercurio  | 4,0655E-09  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Metano, biogênico   | 5,6793E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Xileno  | 1,5703E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Níquel  | 8,1313E-08  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Oxidos de nitrogênio                                      | 0,0011926   | kg        | Ecoinvent v2 |
| NMVOC, Compostos orgânicos voláteis não-metano            | 7,9824E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| PAH, policíclicos aromáticos de hidrocarbonetos           | 1,4394E-07  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Particulados  | 0,00058756  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Fenol, pentacloro   | 1,06E-10    | kg        | Ecoinvent v2 |
| Fósforo   | 4,0655E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Potássio  | 0,00031712  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Sódio   | 0,000017618 | kg        | Ecoinvent v2 |
| Dióxido de enxofre  | 0,000033745 | kg        | Ecoinvent v2 |
| Tolueno   | 3,9256E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Zinco   | 4,0655E-06  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Dióxido de carbono, biogênico                             | 1,560659352 | kg        | Ecoinvent v2 |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                             |             |           |              |
| Esgoto de residência, tratamento de águas residuais       | 0,003090965 | m3        | Ecoinvent v2 |
| Óleo mineral, 10% água, incineração de resíduos perigosos | 0,00004445  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Mistura de cinzas de madeira, adubo                       | 0,0017889   | kg        | Ecoinvent v2 |
| Resíduos sólidos municipais, 22,9% água, aterro sanitário | 0,00004445  | kg        | Ecoinvent v2 |
| Mistura de cinzas de madeira, incineração                 | 0,0017889   | kg        | Ecoinvent v2 |
| Mistura de cinzas de madeira, aterro sanitário            | 0,0035913   | kg        | Ecoinvent v2 |

Para a produção de 1 kg de óleo de palmiste, utilizou-se o inventário já existente no *Ecoinvent v2* com os dados da Malásia, com as seguintes adaptações para o cenário brasileiro:

- substituição do inventário de entrada de cachos de fruto de palma pelo inventário detalhado anteriormente;
- atualização da quantidade em kg de cachos de fruto de palma para a produção de 1 kg de óleo de palmiste. Segundo a empresa AP, esse dado é em torno de 9,28 kg de cachos de fruto de palma;

- substituição do inventário de transporte rodoviário para o inventário já detalhado anteriormente;
- atualização da distância percorrida: o óleo de palmiste percorre a distância de 200 km até a fábrica;
- atualização da quantidade de água necessária para o processamento de 1 kg de óleo de palma para 2,24 kg de água, dado da empresa AP.

Os demais aspectos ambientais do inventário do óleo de palmiste brasileiro foram mantidos sem modificações. A Tabela 5.27 ilustra o inventário do óleo de palmiste brasileiro.

**Tabela 5.27: Inventário de óleo de palmiste brasileiro.**

| PRODUTO   |             |                |              |
|---|-------------|----------------|--------------|
| <b>Óleo de palmiste brasileiro</b>                        | <b>1</b>    | <b>kg</b>      | <b>Fonte</b> |
| <b>MATERIAIS</b>  |             |                |              |
| Cachos de fruto de palma brasileiro                       | 9,28        | kg             | Fornecedor   |
| Transporte rodoviário brasileiro                          | 9,28*200    | kgkm           | Fornecedor   |
| Oil mill/CH/I U   | 1,4298E-09  | p              | Ecoinvent v2 |
| Óleo de moinho  | 2,24        | kg             | Ecoinvent v2 |
| Água brasileira   | 0,004363    | kg             | Ecoinvent v2 |
| Ácido fosfórico   | 0,0012555   | kg             | Ecoinvent v2 |
| Amônia líquida  | 1,913E-07   | kg             | Ecoinvent v2 |
| Cloro líquido   | 7,6518E-06  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Cloreto de sódio  | 0,00009565  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Químicos orgânicos  | 0,00013391  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Óleo de lubrificação                                      | 0,000076518 | kg             | Ecoinvent v2 |
| Água isenta de carbono                                    | 0,01836     | kg             | Ecoinvent v2 |
| <b>EMISSÕES PARA O AR</b>                                 |             |                |              |
| Heat, waste   | 30,13215673 | MJ             | Ecoinvent v2 |
| Hexane  | 0,004363    | kg             | Ecoinvent v2 |
| Geração de calor  | 0,000001423 | kg             | Ecoinvent v2 |
| Hexano  | 0,000040593 | kg             | Ecoinvent v2 |
| Acetaldeído   | 2,3329E-08  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Amônia  | 0,000020499 | kg             | Ecoinvent v2 |
| Arsênico  | 6,7577E-07  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Benzeno   | 1,6219E-13  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Etil-benzeno  | 1,1263E-08  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Haxacloro-benzeno   | 1,3998E-06  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Benzopireno   | 1,6331E-08  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Bromo   | 0,00013648  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Cádmio  | 0,00015769  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Cálcio  | 4,1993E-06  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Monóxido de carbono biogênico                             | 9,238E-08   | kg             | Ecoinvent v2 |
| Cloro líquido   | 9,3315E-10  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Cromo   | 5,1324E-07  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Cromo IV  | 0,000053657 | kg             | Ecoinvent v2 |
| Cobre   | 6,9829E-13  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Monóxido de dinitrogênio                                  | 1,1665E-06  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Fluor   | 2,9284E-06  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Formaldeído   | 0,000020499 | kg             | Ecoinvent v2 |
| Hydrocarbonetos alifáticos insaturados                    | 0,000069829 | kg             | Ecoinvent v2 |
| Chumbo  | 5,809E-07   | kg             | Ecoinvent v2 |
| Magnésio  | 8,4219E-06  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Manganês  | 3,9892E-06  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Mercurio  | 6,9984E-09  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Metano, biogênico   | 9,7765E-06  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Xileno  | 2,7032E-06  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Níquel  | 1,3998E-07  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Oxidos de nitrogênio                                      | 0,0020529   | kg             | Ecoinvent v2 |
| NMVOG, Compostos orgânicos voláteis não-metano            | 0,000013741 | kg             | Ecoinvent v2 |
| PAH, policíclicos aromáticos de hidrocarbonetos           | 2,4779E-07  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Particulados  | 0,0010115   | kg             | Ecoinvent v2 |
| Fenol, pentacloro   | 1,8246E-10  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Fósforo   | 6,9984E-06  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Potássio  | 0,0005459   | kg             | Ecoinvent v2 |
| Sódio   | 0,000030328 | kg             | Ecoinvent v2 |
| Dióxido de enxofre  | 0,00005809  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Tolueno   | 6,7577E-06  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Zinco   | 6,9984E-06  | kg             | Ecoinvent v2 |
| Dióxido de carbono, biogênico                             | 4,755449807 | kg             | Ecoinvent v2 |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                             |             |                |              |
| Esgoto de residência, tratamento de águas residuais       | 0,00532436  | m <sup>3</sup> | Ecoinvent v2 |
| Óleo mineral, 10% água, incineração de resíduos perigosos | 0,000076518 | kg             | Ecoinvent v2 |
| Mistura de cinzas de madeira, adubo                       | 0,0030795   | kg             | Ecoinvent v2 |
| Resíduos sólidos municipais, 22,9% água, aterro sanitário | 0,000076518 | kg             | Ecoinvent v2 |
| Mistura de cinzas de madeira, incineração                 | 0,0030795   | kg             | Ecoinvent v2 |
| Mistura de cinzas de madeira, aterro sanitário            | 0,0061822   | kg             | Ecoinvent v2 |

### Soda cáustica líquida, 50% em água

A soda cáustica é responsável pela reação de saponificação que ocorre entre um ácido graxo, presente na gordura de palma detalhada anteriormente, e uma base forte, a soda cáustica.

A produção industrial de soda cáustica líquida pode ocorrer pela eletrólise do cloreto de sódio (NaCl) e ser realizada pelas principais tecnologias de diafragma, mercúrio e membrana, conhecidas no mundo inteiro. Conforme o relatório da ABI-CLOR (2011) o processo de diafragma é o mais utilizado no Brasil, 72%, seguido pelo processo de mercúrio, 23% e, o processo de membrana, 5%.

Segundo dados do IPCC (2011), o processo de produção de soda cáustica é um dos maiores consumidores de energia elétrica, representando 45% do custo total de produção.

Como uma das principais entradas do processo de produção de soda cáustica é a energia elétrica e, as tecnologias de obtenção pela eletrólise do cloreto de sódio são conhecidas e não sofrem diferenças significativas no seu processamento ao redor do mundo, escolheram-se para o inventário da Soda cáustica líquida, 50% em água, partir de inventário correspondente a média europeia da Soda cáustica líquida, 50% em água, existente na base de dados do *Ecoinvent v2*, com as seguintes adaptações para o inventário adaptado às condições brasileiras:

- substituição do inventário europeu de produção de Soda cáustica líquida, 50% em água, por célula de diafragma pelo inventário brasileiro, que substituiu o *mix* de energia elétrica para a brasileira, Tabela 5.28;
- substituição do inventário europeu de produção de Soda cáustica líquida, 50% em água, por célula de mercúrio pelo inventário brasileiro, que substituiu o *mix* de energia elétrica para a brasileira, Tabela 5.29;
- substituição do inventário europeu de produção de Soda cáustica líquida, 50% em água, por célula de membrana pelo inventário brasileiro, que substituiu o *mix* de energia elétrica para a brasileira, Tabela 5.30;
- atualização das porcentagens de produção das principais tecnologias para 72% da tecnologia de diafragma, 23% da tecnologia de mercúrio e 5% da tecnologia de membrana, Tabela 5.31.

Os demais aspectos ambientais do inventário da soda cáustica líquida 50% em água brasileira foram mantidos sem modificações.

**Tabela 5.28: Inventário da soda cáustica líquida, 50% em água, por célula de diafragma adaptado para a realidade brasileira.**

| PRODUTO   |             |     |  |
|---|-------------|-----|--|
| Soda cáustica, 50% em água, células de diafragma      | 1           | kg  | Fonte                                  |
| <b>RECURSOS</b>                                       |             |     |  |
| Água, não especificada                                | 0,00087938  | m3  | Ecoinvent v2                           |
| Água de resfriamento                                  | 0,13422     | m3  | Ecoinvent v2                           |
| <b>MATERIAIS</b>                                      |             |     |  |
| Cloreto de sódio em pó                                | 0,80996     | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Tipo de amianto, crisotila                            | 0,000092566 | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Soda em pó  | 0,0053226   | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Barita  | 0,0016199   | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Cloreto de cálcio, CaCl <sub>2</sub>                  | 0,0082384   | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Ácido clorídrico, 30% em água                         | 0,011571    | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Sulfito   | 0,000046283 | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Transporte rodoviário                                 | 0,085161    | tkm | Ecoinvent v2                           |
| Transporte ferroviário                                | 0,0060168   | tkm | Ecoinvent v2                           |
| Químicos orgânicos                                    | 1,8513E-10  | p   | Ecoinvent v2                           |
| Eletricidade, média voltagem, Brasil                  | 1,906587611 | kWh | Inventário energia elétrica brasileira |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>                           |             |     |  |
| Hidrogênio  | 0,00025456  | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Cloro   | 3,7027E-06  | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Dióxido de carbono                                    | 0,0014348   | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Particulados  | 1,8513E-11  | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Geração de calor                                      | 6,870106195 | MJ  | Ecoinvent v2                           |
| <b>EMISSIONES PARA A ÁGUA</b>                         |             |     |  |
| Clorato   | 0,00097195  | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Bromato   | 0,00012728  | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Cloreto   | 0,0069425   | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Solventes clorados                                    | 2,777E-07   | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Sulfato   | 0,0036564   | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Sólidos inorgânicos                                   | 9,6732E-06  | kg  | Ecoinvent v2                           |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                         |             |     |  |
| Lodo, residual da eletrólise de NaCl, residual aterro | 0,0070813   | kg  | Ecoinvent v2                           |
| Resíduos perigosos, 0% água, aterro subterrâneo       | 0,000046283 | kg  | Ecoinvent v2                           |

**Tabela 5.29: Inventário da soda cáustica líquida, 50% em água, por célula de mercúrio adaptado para a realidade brasileira.**

| PRODUTO   |             |            |  |
|---|-------------|------------|--|
| Soda cáustica, 50% em água, células de mercúrio       | 1           | kg         | Fonte                                  |
| <b>RECURSOS</b>                                       |             |            |  |
| Água, não especificada                                | in water    | 0,00087938 | Ecoinvent v2                           |
| Água de resfriamento                                  | in water    | 0,046283   | Ecoinvent v2                           |
| <b>MATERIAIS</b>                                      |             |            |  |
| Cloreto de sódio                                      | 0,80996     | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Mercurio  | 3,1241E-06  | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Soda  | 0,0053226   | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Barita  | 0,0016199   | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Cloreto de cálcio, CaCl <sub>2</sub>                  | 0,0082384   | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Ácido clorídrico, 30% em água                         | 0,011571    | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Sulfito   | 0,000046283 | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Eletricidade, média voltagem, Brasil                  | 1,647681416 | kWh        | Inventário energia elétrica brasileira |
| Transporte rodoviário                                 | 0,087475    | tkm        | Ecoinvent v2                           |
| Transporte ferroviário                                | 0,0064796   | tkm        | Ecoinvent v2                           |
| Químicos orgânicos                                    | 1,8513E-10  | p          | Ecoinvent v2                           |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>                           |             |            |  |
| Calor   | 5,924247788 | MJ         | Ecoinvent v2                           |
| Hidrogênio  | 0,00025456  | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Cloro   | 3,7027E-06  | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Dióxido de carbono                                    | 0,0014348   | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Mercurio  | 5,3226E-07  | kg         | Ecoinvent v2                           |
| <b>EMISSIONES PARA A ÁGUA</b>                         |             |            |  |
| Clorato   | 0,00097195  | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Bromato   | 0,00012728  | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Cloro   | 0,0069425   | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Solventes clorados                                    | 2,777E-07   | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Sulfato   | 0,0036564   | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Mercurio  | 1,5273E-07  | kg         | Ecoinvent v2                           |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                         |             |            |  |
| Lodo, residual da eletrólise de NaCl, residual aterro | 0,0070813   | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Carvão ativado usado com mercúrio, aterro subterrâneo | 0,00013422  | kg         | Ecoinvent v2                           |

**Tabela 5.30: Inventário da soda cáustica líquida, 50% em água, por células de membrana adaptado para a realidade brasileira.**

| PRODUTO  | 1           | kg         | Fonte                                  |
|--|-------------|------------|--|
| <b>Soda cáustica, 50% em água, células de membrana</b> |             |            |  |
| <b>RECURSOS</b>  |             |            |  |
| Água, não especificada                                 | in water    | 0,00087938 | m3                                     |
| Água de resfriamento                                   | in water    | 0,046283   | m3                                     |
| <b>MATERIAIS</b>                                       |             |            |  |
| Cloreto de sódio                                       | 0,80996     | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Soda   | 0,0053226   | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Barita   | 0,0016199   | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Cloreto de cálcio, CaCl <sub>2</sub>                   | 0,0082384   | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Ácido clorídrico, 30% em água                          | 0,011571    | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Sulfito  | 0,000046283 | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Transporte rodoviário                                  | 0,10738     | tkm        | Ecoinvent v2                           |
| Transporte ferroviário                                 | 0,0097195   | tkm        | Ecoinvent v2                           |
| Químicos orgânicos                                     | 1,8513E-10  | p          | Ecoinvent v2                           |
| Eletricidade, média voltagem, Brasil                   | 1,450569027 | kWh        | Inventário energia elétrica brasileira |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>                            |             |            |  |
| Hidrogênio   | 0,00025456  | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Cloro  | 3,7027E-06  | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Dióxido de carbono                                     | 0,0014348   | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Geração de calor                                       | 5,225955752 | MJ         | Ecoinvent v2                           |
| <b>EMISSIONES PARA A ÁGUA</b>                          |             |            |  |
| Clorato  | 0,00097195  | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Bromato  | 0,00012728  | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Cloreto  | 0,0069425   | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Solventes clorados                                     | 2,777E-07   | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Sulfato  | 0,0036564   | kg         | Ecoinvent v2                           |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                          |             |            |  |
| Lodo, residual da eletrólise de NaCl, residual aterro  | 0,0070813   | kg         | Ecoinvent v2                           |
| Papel, 11,2% água, aterro sanitário                    | 0,0002777   | kg         | Ecoinvent v2                           |

**Tabela 5.31: Inventário do mix de produção da soda cáustica líquida, 50% em água adaptado para a realidade brasileira.**

| PRODUTO  | 1    | kg | Fonte              |
|--|------|----|--------------------|
| <b>Mix de produção da soda cáustica líquida, 50% em água</b> |      |    |                    |
| <b>MATERIAIS</b>   |      |    |                    |
| Soda cáustica líquida, 50% em água, células de mercúrio      | 0,23 | kg | Dados ABICLOR 2011 |
| Soda cáustica líquida, 50% em água, células de diafragma     | 0,72 | kg | Dados ABICLOR 2011 |
| Soda cáustica líquida, 50% em água, células de membrana      | 0,05 | kg | Dados ABICLOR 2011 |

### Água desmineralizada

A água desmineralizada ou deionizada participa de quase todos os processos industriais em uma empresa de cosmético e, ela se caracteriza por ter todos os seus sais minerais removidos, sendo própria para ser utilizada em processos químicos. A desmineralização da água é o processo de remoção praticamente total dos íons presentes na água e, por isso, o processo também é chamado de deionização.

No banco de dados do *Ecoinvent v2* existe um inventário de água desmineralizada que corresponde à média de alguns países europeus. Para transformar esse inventário às condições brasileiras, as seguintes atualizações foram feitas:

- modificação da entrada de hidróxido de sódio, 50% em água, inventário europeu, para o inventário brasileiro, detalhado anteriormente;
- modificação do mix de energia europeu para o brasileiro.

Os demais aspectos ambientais do inventário da água desmineralizada foram mantidos sem modificações. O inventário completo pode ser visualizado na Tabela 5.32.

**Tabela 5.32: Inventário da água deionizada adaptado para as condições brasileiras.**

| PRODUTO   |          |     |   |
|---|----------|-----|---|
| Água deionizada brasileira                            | 1        | kg  | Fonte                                       |
| <b>MATERIAIS</b>                                      |          |     |   |
| Água brasileira                                       | 1,11     | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Ácido clorídrico, 30% em água                         | 0,00024  | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Mix de produção da soda cáustica líquida, 50% em água | 0,00012  | kg  | Inventário mix de produção de soda cáustica |
| Eleticidade, média voltagem, Brasil                   | 0,00045  | kWh | Matriz de eletricidade brasileira           |
| Tratamento da água, deionização                       | 9E-11    | p   | Ecoinvent v2                                |
| Transporte ferroviário                                | 0,000624 | tkm | Ecoinvent v2                                |
| Transporte rodoviário                                 | 0,000052 | tkm | Ecoinvent v2                                |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>                           |          |     |   |
| Geração de calor                                      | 0,00162  | MJ  | Ecoinvent v2                                |
| Dióxido de carbono, biogênico                         | 0,00023  | kg  | Ecoinvent v2                                |
| <b>EMISSIONES PARA A ÁGUA</b>                         |          |     |   |
| Cloro   | 0,00023  | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Sódio   | 0,00007  | kg  | Ecoinvent v2                                |

### 5.2.5.2 LESS

O Lauril Éter Sulfato de Sódio (LESS) é um surfactante obtido pela etoxilação do dodecanol (álcool láurico), seguida da sulfatação com  $\text{SO}_3$  e neutralização com  $\text{NaOH}$ .

O dodecanol pode ser obtido por rota petroquímica ou por matérias-primas vegetais e, o principal fornecedor de LESS para a empresa EC, chamado de CG, utiliza rota oleoquímica e, portanto, matérias-primas vegetais.

A principal matéria-prima da rota oleoquímica é o óleo de palmiste, pois esse óleo é rico em triglicerídeos de ácido láurico (ácido graxo com 12 carbonos em sua cadeia).

O ciclo de vida do LESS se inicia com a plantação da *Elaeis guineensis* na Malásia pela empresa CG, localizada no Brasil. Essa empresa não forneceu informações sobre o cultivo da palmácea e nem da extração do óleo na Malásia, porém como já relatado anteriormente, é possível encontrar na base de dados do *Ecoinvent v2*, dados sobre a plantação e extração do óleo de palmiste para a região da Malásia e, portanto, para essa entrada no subsistema do LESS foram utilizados dados obtidos diretos do *Ecoinvent v2*.

O dodecanol é produzido pela rota éster-metílico. A reação do metanol com o óleo de palmiste (PKO) é uma reação de transesterificação em que são produzidos ésteres metílicos e glicerina. A glicerina é separada juntamente com a água e a fase

oleosa, contendo os ésteres e é hidrogenada, regenerando o metanol e uma mistura de álcoois. O metanol é reciclado para o processo e a mistura de álcoois é destilada até que se obtenha um conteúdo mínimo de 70% de dodecanol.

Como também não foram disponibilizadas informações sobre essa reação de transesterificação e sobre a produção do metanol utilizada na reação e, sabendo-se que essa etapa do processo ocorre na Europa, sendo a Alemanha o país sede da empresa CG, utilizou-se a média europeia para os álcoois obtidos a partir do óleo de palmiste como entrada no subsistema, observando-se que os dados do óleo de palmiste para esse inventário consideram dados médios da Malásia.

Posteriormente o álcool láurico é transportado ao Brasil em *containers*, com uma distância de aproximadamente 10.000 km, pelo transporte marítimo de cargas, já detalhado anteriormente.

Ao chegar ao Brasil, o dodecanol passa pelo processo de etoxilação para formação das ligações éter no produto final gerando o Lauril Éter. O consumo de óxido de etileno, segundo a empresa CG, é de 2 mols para cada mol de dodecanol, ou seja, 0,321 kg de óxido de etileno para 0,679 kg de dodecanol, para a obtenção de 1 kg de Lauril Éter. O óxido de etileno é produzido no próprio site da empresa CG e para o inventário de etoxilação do dodecanol, utilizou-se como ponto de partida o inventário já existente na base de dados do *Ecoinvent v2* de etoxilação de álcoois, com as seguintes adaptações às condições brasileiras:

- substituição do inventário europeu de óxido de etileno para o inventário brasileiro de óxido de etileno, que substitui o inventário de energia elétrica europeu para o inventário brasileiro, Tabela 5.33;
- substituição do inventário europeu de aquecimento por gás natural para o inventário brasileiro de gás natural, detalhado anteriormente.

Os demais aspectos ambientais do inventário do Lauril Éter foram mantidos sem modificações. O inventário do Lauril Éter pode ser visualizado na Tabela 5.34.

**Tabela 5.33: Inventário do Óxido de Etileno adaptado para as condições brasileiras.**

| PRODUTO                              |       |     |                                   |
|--------------------------------------|-------|-----|-----------------------------------|
| Óxido de etileno brasileiro          | 1     | kg  | Fonte                             |
| <b>MATERIAIS</b>                     |       |     |                                   |
| Oxigênio líquido                     | 0,463 | kg  | Ecoinvent v2                      |
| Químicos orgânicos                   | 4E-10 | p   | Ecoinvent v2                      |
| Eletricidade, média voltagem, Brasil | 0,33  | kWh | Matriz de eletricidade brasileira |
| Ethylene, average, at plant/RER U    | 0,825 | kg  | Ecoinvent v2                      |

(continua)



(continuação)

| PRODUTO  | 1        | kg | Fonte        |
|--|----------|----|--------------|
| <b>Oxido de etileno brasileiro</b>               |          |    |              |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>                      |          |    |              |
| Dióxido de carbono                               | 0,21     | kg | Ecoinvent v2 |
| Monóxido de carbono                              | 0,00011  | kg | Ecoinvent v2 |
| Eteno  | 0,00023  | kg | Ecoinvent v2 |
| Oxido de etileno                                 | 0,00002  | kg | Ecoinvent v2 |
| Geração de calor                                 | 1,2      | MJ | Ecoinvent v2 |
| Metano   | 0,000075 | kg | Ecoinvent v2 |
| NMVOOC, Compostos orgânicos voláteis não-metano  | 0,00024  | kg | Ecoinvent v2 |
| <b>EMISSIONES PARA A ÁGUA</b>                    |          |    |              |
| BOD5, Demanda biológica de oxigênio              | 0,00019  | kg | Ecoinvent v2 |
| COD, Demanda química de oxigênio                 | 0,00019  | kg | Ecoinvent v2 |
| DOC, Carbono orgânico dissolvido                 | 0,0002   | kg | Ecoinvent v2 |
| TOC, Carbono orgânico total                      | 0,0002   | kg | Ecoinvent v2 |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                    |          |    |              |
| Catalisador do óxido de etileno, aterro residual | 0,0005   | kg | Ecoinvent v2 |

Tabela 5.34: Inventário do Lauril Éter adaptado para as condições brasileiras.

| PRODUTO   | 1           | kg   | Fonte                                  |
|---|-------------|------|--|
| <b>Lauril Éter</b>                              |             |      |  |
| <b>MATERIAIS</b>                                |             |      |  |
| Oxido de etileno brasileiro                     | 0,321       | kg   | Inventário óxido de etileno brasileiro |
| Alcool láurico                                  | 0,679       | kg   | Ecoinvent v2                           |
| Nitrogênio líquido                              | 0,0176      | kg   | Ecoinvent v2                           |
| Eleticidade, média voltagem, Brasil             | 0,029/0,197 | kWh  | Matriz de eletricidade brasileira      |
| Queima do gás natural brasileiro                | 3,52        | kcal | Inventário da queima do gás natural    |
| Químicos orgânicos                              | 4E-10       | p    | Ecoinvent v2                           |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>                     |             |      |  |
| Particulados                                    | 0,00000064  | kg   | Ecoinvent v2                           |
| Oxidos de nitrogênio                            | 0,0000139   | kg   | Ecoinvent v2                           |
| NMVOOC, Compostos orgânicos voláteis não-metano | 0,00172     | kg   | Ecoinvent v2                           |
| Dióxido de enxofre                              | 0,0000131   | kg   | Ecoinvent v2                           |
| Aldeído   | 0,00000693  | kg   | Ecoinvent v2                           |
| Metano  | 0,0000351   | kg   | Ecoinvent v2                           |
| Dióxido de carbono                              | 0,00836     | kg   | Ecoinvent v2                           |
| <b>EMISSIONES PARA A ÁGUA</b>                   |             |      |  |
| Acidez  | 0,00000006  | kg   | Ecoinvent v2                           |
| BOD5, Demanda biológica de oxigênio             | 0,000897    | kg   | Ecoinvent v2                           |
| COD, Demanda química de oxigênio                | 0,00124     | kg   | Ecoinvent v2                           |
| Fenol   | 5,33E-10    | kg   | Ecoinvent v2                           |
| Sulfeto   | 0,000000254 | kg   | Ecoinvent v2                           |
| Cromo   | 0,000000426 | kg   | Ecoinvent v2                           |
| Ferro   | 3,71E-09    | kg   | Ecoinvent v2                           |
| Nitrogênio                                      | 0,000002    | kg   | Ecoinvent v2                           |
| Zinco   | 6,62E-08    | kg   | Ecoinvent v2                           |
| Hidrocarbonetos                                 | 1,32E-08    | kg   | Ecoinvent v2                           |
| Amônia  | 9,24E-10    | kg   | Ecoinvent v2                           |

Posteriormente ocorre a reação de sulfatação do Lauril Éter, que é realizada por meio da reação entre o Lauril Éter e o Trióxido de Enxofre (SO<sub>3</sub>). O Trióxido de Enxofre é fabricado no próprio site da empresa CG a partir de reações com o enxofre elementar. Esse enxofre é fornecido líquido (fundido) por uma refinaria distante aproximadamente 15 km da empresa CG.

O processo de fabricação do SO<sub>3</sub> envolve a queima do enxofre para a geração de SO<sub>2</sub> seguida da reação de oxidação catalítica num leito de Pentóxido de Vanádio (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Dados sobre esse processo não foram fornecidos e, por esse motivo, utilizou-se o inventário europeu de Trióxido de Enxofre, substituindo a energia elétrica europeia para a brasileira, adaptando-o assim para as condições brasileiras.

E, finalmente, o Lauril Éter Sulfato é neutralizado com o hidróxido de sódio (NaOH) para a obtenção do Lauril Éter Sulfato de Sódio (LESS) e, como esse pro-

cesso não existe na base de dados do *Ecoinvent v2*, adaptou-se o inventário europeu existente de Álcool Sulfatado de Óleo de Palmiste para o inventário brasileiro Lauril Éter Sulfato de Sódio (que não existe na base de dados do *Ecoinvent v2*), com as seguintes adaptações:

- inserção do inventário álcool etoxilado com o valor de 0,197 kg (dados do fornecedor CG);
- substituição do inventário europeu de Trióxido de enxofre para o brasileiro, detalhado anteriormente, com o valor de entrada de 0,025 kg (dados do fornecedor CG);
- inserção do inventário brasileiro de soda cáustica, detalhado anteriormente, com o valor de 0,058 kg (dados do fornecedor CG);
- substituição do inventário de energia elétrica europeu pelo inventário de energia elétrica brasileiro com o valor de 0,149 kWh (dados do fornecedor CG);
- substituição do inventário europeu de água deionizada para o inventário com as características brasileiras com o valor de 0,688 kg (dados do fornecedor CG), uma vez que o LESS nesse inventário possui concentração de 27% em água.

Os demais aspectos ambientais do inventário do Lauril Éter Sulfato de Sódio foram mantidos sem modificações. O inventário do Lauril Éter Sulfato de Sódio pode ser visualizado na Tabela 5.35.

**Tabela 5.35: Inventário do Lauril Éter Sulfato de Sódio (LESS).**

| PRODUTO  |            |     |   |
|--|------------|-----|---|
| Lauril Éter Sulfato de Sódio (LESS) brasileiro                     | 1          | kg  | Fonte                                       |
| <b>MATERIAIS</b>   |            |     |   |
| Lauril Éter  | 0,197      | kg  | Inventário Lauril Éter                      |
| Trióxido de enxofre  | 0,025      | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Mix de produção da soda cáustica líquida, 50% em água              | 0,058      | kg  | Inventário mix de produção de soda cáustica |
| Energia elétrica brasileira  | 0,149      | kWh | Matriz de eletricidade brasileira           |
| Calor em plantas químicas  | 1,87       | MJ  | Ecoinvent v2                                |
| Químicos orgânicos   | 4E-10      | p   | Ecoinvent v2                                |
| Água deionizada brasileira   | 0,688      | kg  | Inventário Água                             |
| <b>EMISSÕES PARA O AR</b>  |            |     |   |
| Particulados   | 0,000156   | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Óxidos de nitrogênio   | 0,000108   | kg  | Ecoinvent v2                                |
| NMVOG, Compostos orgânicos voláteis não-metano                     | 0,00000362 | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Dióxido de enxofre   | 0,00011    | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Monóxido de carbono  | 0,00000624 | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Metano   | 0,00105    | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Dióxido de carbono, biogênico                                      | 0,0311     | kg  | Ecoinvent v2                                |
| <b>EMISSÕES PARA A ÁGUA</b>  |            |     |   |
| Sólidos  | 0,00302    | kg  | Ecoinvent v2                                |
| BOD5, Demanda biológica de oxigênio                                | 0,0000159  | kg  | Ecoinvent v2                                |
| COD, Demanda química de oxigênio                                   | 0,000886   | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Óleos  | 0,00000536 | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Cromo  | 0,00000243 | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Nitrogênio   | 0,00000414 | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Zinco  | 0,00000011 | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Sulfato  | 0,00106    | kg  | Ecoinvent v2                                |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                                      |            |     |   |
| Eliminação de resíduos inertes, 5% água, aterro de material inerte | 0,00062    | kg  | Ecoinvent v2                                |

### 5.2.5.3 Fragrância

O inventário de fragrância foi obtido com dados diretamente do fornecedor GI, sendo usualmente composta por uma mistura de componentes químicos, tais como: álcool, éster alifático, cetona alifática, uma parte natural e outros químicos. Normalmente as fragrâncias utilizadas pela empresa EC são fabricadas na Europa e, posteriormente exportadas para o Brasil.

Na base de dados do *Ecoinvent v2* não foi possível encontrar nenhum inventário de fragrância existente, mas com a composição média de uma fragrância, divulgada pela empresa GI, é possível realizar um inventário de fragrância, ilustrado na Tabela 5.36, para o presente trabalho, a partir da entrada nesse sistema dos seguintes inventário:

- 35% de Álcool, representado pelo inventário europeu de álcool derivado de fonte petroquímica, já existente na base de dados do *Ecoinvent v2*;
- 26% de Parte Natural, representada pelo inventário europeu de etanol proveniente da cana de açúcar;
- 20% de Cetona Alifática, representada pelo inventário europeu de uma cetona alifática, presente na base de dados do *Ecoinvent v2*, o 4-methyl-2-pentanone;
- 10% de Éster Alifático, representado pelo inventário europeu de um éster alifático, presente na base de dados do *Ecoinvent v2*, o 3-methyl-1-butyl acetate;
- 9% de outros químicos, representado pelo inventário europeu outros químicos orgânicos, presente na base de dados do *Ecoinvent v2*;
- transporte marítimo do local de fabricação da fragrância (Europa) até o Brasil, distância de 10.000 km, representado pelo inventário de transporte por containers, detalhado anteriormente;
- transporte rodoviário da fragrância da empresa GI até a empresa EC, distantes 100 km, representado pelo inventário rodoviário brasileiro, detalhado anteriormente.

Tabela 5.36: Inventário da fragrância.

| PRODUTO                                 |       |      |   |
|---|-------|------|---|
| Fragrância                              | 1     | kg   | Fonte                                       |
| <b>MATERIAIS</b>                        |       |      |   |
| Alcool                                  | 0,35  | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Éster Alifático                         | 0,1   | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Cetona Alifática                        | 0,2   | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Outros                                  | 0,09  | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Parte Natural                           | 0,26  | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Transporte Rodoviário 100 km para 1 kg  | 100   | kgkm | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| Transporte Marítimo 15.000 km para 1 kg | 15000 | kgkm | Ecoinvent v2                                |

#### 5.2.5.4 Branqueador óptico, EDTA Tetrassódico, Ácido Etidrônico e B.H.T.

Os componentes do sabonete em barra Branqueador óptico, EDTA Tetrassódico, Ácido Etidrônico e B.H.T. completam a sua composição final. Como eles representam menos de 3% do total das matérias-primas e seus inventários não estão representados na base de dados do *Ecoinvent v2*, eles foram classificados em dois grupos, um dos químicos orgânicos, representado pelo EDTA Tetrassódico e Ácido Etidrônico e, outro dos químicos inorgânicos, representado pelo Branqueador óptico e B.H.T.

Para o inventário dos químicos orgânicos, foi escolhido o inventário do *Ecoinvent v2*, Químicos orgânicos, e adicionado o valor de 0,012 kg. E, para o inventário dos químicos inorgânicos, foi escolhido o inventário do *Ecoinvent v2*, Químicos inorgânicos, e adicionado o valor de 0,017 kg.

#### 5.2.5.5 Filme de BOPP

A produção do filme de BOPP envolve como principal entrada do processo a matéria-prima polipropileno e o processo de transformação dessa resina em filme plástico, conhecido como processo de extrusão.

Não foi possível obter informações do inventário de produção do polipropileno brasileiro, uma vez que as empresas brasileiras não divulgaram suas informações para o presente trabalho. Dessa forma, criou-se o inventário Filme de BOPP com as seguintes características:

- inserção do inventário, média Europa, de polipropileno granulado, correspondente a entrada de polipropileno para a embalagem, na quantidade de 1,05 kg, sabendo-se, como dito anteriormente, que o processo possui rendimento de 95%;

- inserção do inventário europeu de extrusão de filmes plásticos, sendo adaptado para as condições brasileiras a partir da sua modificação para a energia elétrica brasileira, Tabela 5.37;
- inserção do inventário de transporte rodoviário brasileiro para o transporte do filme de BOPP até a empresa EC, distância média de 100 km.

**Tabela 5.37: Inventário da extrusão do filme de BOPP adaptado às condições brasileiras.**

| <b>PRODUTO</b>  |           |     |   |
|---|-----------|-----|---|
| Extrusão de plástico brasileiro                                     | 1         | kg  | Fonte                                       |
| <b>RECURSOS</b>   |           |     |   |
| Água de resfriamento  | 0,0437    | m3  | m3  |
| <b>MATERIAIS</b>  |           |     |   |
| Óleo de lubrificação  | 0,000105  | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Palletes  | 0,00144   | p   | Ecoinvent v2                                |
| Painéis de partículas   | 0,0000215 | m3  | Ecoinvent v2                                |
| Placa sólida branqueada   | 0,000976  | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Bordo núcleo  | 0,00732   | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Policloreto de vinila, suspensão polimerizada                       | 0,000488  | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Poliétileno granulado de baixa                                      | 0,00215   | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Polipropileno granulado   | 0,000683  | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Eletricidade, média voltagem, Brasil                                | 0,66      | kWh | Inventário da eletricidade brasileira       |
| Calor, hulha industrial, 1-10MW                                     | 0,0751    | MJ  | Ecoinvent v2                                |
| Calor, gás natural, >100kW  | 0,601     | MJ  | Ecoinvent v2                                |
| Calor, óleo de combustível pesado, 1MW                              | 0,134     | MJ  | Ecoinvent v2                                |
| Vapor por processos químicos  | 0,058     | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Caixa de embalagem  | 1,4E-09   | p   | Ecoinvent v2                                |
| Transporte rodoviário brasileiro                                    | 0,0118    | tkm | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| <b>EMISSOES PARA O AR</b>   |           |     |   |
| Geração de calor  | 2,38      | MJ  | Ecoinvent v2                                |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                                       |           |     |   |
| Eliminação de plásticos, mistura, 15,3% água, incineração municipal | 0,0241    | kg  | Ecoinvent v2                                |

Como passo posterior da utilização do produto, ocorre o descarte do material de embalagem pelo consumidor, também conhecido como cenário de destino final. Segundo uma pesquisa de mercado realizada pela empresa EC, o filme de BOPP não é reciclável, ou seja, embora ele seja 100% composto da resina polipropileno, por ser muito leve e não ser prático para armazenamento, ele foi considerado como destino final 100% em aterro.

O inventário do filme de BOPP do presente trabalho pode ser visualizada na Tabela 5.38.

**Tabela 5.38: Inventário do Filme de BOPP brasileiro.**

| <b>PRODUTO</b>                   |      |      |   |
|----------------------------------|------|------|---|
| Filme BOPP                       | 1    | kg   | Fonte                                       |
| <b>MATERIAIS</b>                 |      |      |   |
| Polipropileno granulado          | 1,05 | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Extrusão de plástico brasileiro  | 1,05 | kg   | Inventário modelo de extrusão brasileiro    |
| Transporte rodoviário brasileiro | 100  | kgkm | Inventário transporte rodoviário brasileiro |

#### 5.2.5.6 Sabonete em barra

Para o processo de produção de 1 kg sabonete em barra utilizou-se como ponto de partida as quantidades das matérias-primas da Tabela 5.22 e o inventário europeu do *Ecoinvent v2* de produção de sabão, com as seguintes alterações:

- substituição do inventário europeu de Soda Cáustica Líquida, 50% em água, para o inventário descrito anteriormente adaptado às condições brasileiras;
- inserção do inventário brasileiro de Óleo de palmiste, descrito anteriormente;
- substituição do inventário de Óleo de palma da Malásia pelo modelo brasileiro de óleo de palma, detalhado anteriormente;
- inserção do modelo de Fragrância;
- inserção do inventário do Lauril Éter Sulfato de Sódio, detalhado anteriormente;
- inserção do inventário de Químicos orgânicos;
- inserção do inventário de Químicos inorgânicos;
- inserção do inventário de Água deionizada;
- substituição do inventário de energia elétrica europeia para brasileira;
- substituição do inventário de consumo de óleo BPF para o inventário brasileiro, detalhado anteriormente e, alteração do seu consumo para 575,4 kcal (dados da empresa EC);
- inserção dos modais finais de transportes rodoviários das matérias-primas. As matérias-primas do sabonete em barra tiveram seu transporte final realizado pelo inventário brasileiro de transporte rodoviário e tiveram a sua quantidade (Tabela 5.42) multiplicada pela distância percorrida como entradas para o transporte. A Tabela 5.43 ilustra as distâncias médias das matérias-primas de diversos fornecedores até a empresa EC.

Os demais aspectos ambientais do inventário do sabonete em barra brasileiro foram mantidos sem modificações e podem ser visualizados na Tabela 5.40.

Tabela 5.39 - Distâncias finais percorridas pelas matérias-primas do sabonete em barra.

| Matérias-Primas        | Distâncias finais percorridas (km) |
|------------------------|------------------------------------|
| Fragrância             | 100                                |
| Óleo de Palmiste (PKO) | 25                                 |
| Óleo de Palma (PO)     | 25                                 |
| Soda Cáustica          | 3.000                              |
| Químicos Orgânicos     | 100                                |
| Químicos Inorgânicos   | 100                                |
| Massa de Sabonete      | 2.885                              |
| LESS                   | 100                                |

Tabela 5.40 – Inventário da fabricação do sabonete em barra.

| PRODUTO   |             |      |   |
|---|-------------|------|---|
| Fabricação do sabonete em barra                               | 1           | kg   | Fonte                                       |
| <b>MATERIAIS</b>  |             |      |   |
| Mix de produção da soda cáustica líquida, 50% em água         | 0,251       | kg   | Inventário mix de produção de soda cáustica |
| Óleo de palmiste brasileiro                                   | 0,152       | kg   | Inventário óleo de palmiste brasileiro      |
| Óleo de palma brasileiro                                      | 0,594       | kg   | Inventário óleo de palma brasileiro         |
| Fragrância  | 0,015       | kg   | Inventário fragrância                       |
| Lauril Eter Sulfato de Sódio (LESS)                           | 0,1         | kg   | Inventário LESS                             |
| Químicos orgânicos  | 0,012       | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Químicos inorgânicos  | 0,017       | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Água deionizada brasileira                                    | 0,1         | kg   | Inventário água deionizada                  |
| Eleticidade, média voltagem, Brasil                           | 0,22        | kWh  | Inventário da eletricidade brasileira       |
| Queima do óleo BPF  | 575,4       | kcal | Inventário queima do óleo BPF               |
| Planta químico  | 4E-10       | p    | Ecoinvent v2                                |
| Transporte rodoviário brasileiro para a Fragrância            | 0,015*100   | kgkm | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| Transporte rodoviário brasileiro para o Óleo de Palmiste      | 0,152*25    | kgkm | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| Transporte rodoviário brasileiro para o Óleo de Palma         | 0,594*25    | kgkm | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| Transporte rodoviário brasileiro para a Soda Cáustica Líquida | 0,251*3000  | kgkm | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| Transporte rodoviário brasileiro para os Outros orgânicos     | 0,012*100   | kgkm | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| Transporte rodoviário brasileiro para os Outros inorgânicos   | 0,017*100   | kgkm | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| Transporte rodoviário brasileiro para massa de sabonete       | 1*2885      | kgkm | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| Transporte rodoviário brasileiro para o LESS                  | 0,1*100     | kgkm | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>                                   |             |      |   |
| Particulados  | 0,000151    | kg   | Ecoinvent v2                                |
| NMVO, Compostos orgânicos voláteis não-metano                 | 0,0000045   | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Dióxido de enxofre  | 0,0000111   | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Monóxido de carbono   | 0,00000332  | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Metano  | 0,000178    | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Mercurio  | 0,00000033  | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Cloro   | 6,11E-08    | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Dióxido de carbono  | 0,000035    | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Dióxido de carbono biogênico                                  | 0,00635     | kg   | Ecoinvent v2                                |
| <b>EMISSIONES PARA A ÁGUA</b>                                 |             |      |   |
| Acidez  | 0,00000419  | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Sólidos dissolvidos   | 0,00244     | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Sólidos suspensos   | 0,00144     | kg   | Ecoinvent v2                                |
| BOD5, Demanda biológica por oxigênio                          | 0,00134     | kg   | Ecoinvent v2                                |
| COD, Demanda química por oxigênio                             | 0,00638     | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Sulfeto   | 0,0000027   | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Cromo   | 0,000000201 | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Ferro   | 0,00061     | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Níquel  | 3,53E-08    | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Mercurio  | 3,82E-08    | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Chumbo  | 1,61E-08    | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Nitrogênio  | 0,00000606  | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Zinco   | 0,000000177 | kg   | Ecoinvent v2                                |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                                 |             |      |   |
| Eliminação de resíduos inertes, 5% água, em aterros inertes   | 0,00239     | kg   | Ecoinvent v2                                |

Para o processo de produção de 1 SKU (*Stock keeping unit* ou unidade de manutenção de estoque) de sabonete em barra, Tabela 5.41, as seguintes entradas foram consideradas:

- inventário brasileiro do Sabonete em barra com o valor de 100 g;

- inserção do inventário de uso do sabonete pelo consumidor. E, de acordo com o item 5.1.1, um sabonete em barra de 100 g corresponde a 25 banhos;
- inventário do Filme de BOPP com o valor de 6 g.

Tabela 5.41 – Inventário de 1 SKU de sabonete em barra.

| PRODUTO                         |     |         |   |
|---------------------------------|-----|---------|---|
| SKU Sabonete Barra              | 1   | produto | Fonte                                     |
| <b>MATERIAIS</b>                |     |         |   |
| Fabricação do sabonete em barra | 100 | g       | Inventário fabricação do sabonet em barra |
| Filme BOPP                      | 6   | g       | Inventário filme de BOPP                  |

Para o processo de ciclo de vida do sabonete em barra, consideraram-se as seguintes entradas:

- 1 sabonete em barra;
- etapa de uso para gastar 1 sabonete em barra;
- cenário de destino final de 1 sabonete em barra (detalhado no item do filme de BOPP).

### 5.2.6 MATÉRIAS-PRIMAS DO SABONETE LÍQUIDO

As etapas que envolvem a produção das matérias-primas de um sabonete cosmético líquido podem ser visualizadas na Figura 5.2. A Tabela 5.42 ilustra todos os insumos que compõem um sabonete líquido. A tabela está em ordem decrescente de composição, sendo o primeiro componente da tabela o de maior concentração. O rendimento do processo de fabricação de um sabonete líquido para a empresa EC é em torno de 100% e, esse rendimento foi considerado no projeto. As matérias-primas estão representadas em quantidade em kg para a fabricação de 1 kg de sabonete líquido.

As matérias-primas destacadas em verde e azul na Figura 5.2 e na Tabela 5.42 tiveram os seus ICV's realizados por representarem 99% da composição de um sabonete líquido, tendo sido utilizado o critério mássico para esse corte. Para as matérias-primas em azul, adaptaram-se suas produções para as condições brasileiras, como por exemplo, substituição da matriz energética pela matriz energética brasileira. As matérias-primas em cinza tiveram pouca representatividade mássica e seus valores foram obtidos diretamente na base de dados do *Ecoinvent*.



Tabela 5.42: Composição em kg para a fabricação de 1 kg de sabonete em líquido.

| Sabonete líquido |                                | Composição (kg) |
|------------------|--------------------------------|-----------------|
| MATÉRIAS-PRIMAS  | Água desmineralizada           | 0,64            |
|                  | LESS (27% em ativo)            | 0,20            |
|                  | Cocoamido Propil Betaina       | 0,10            |
|                  | Glicerina Bi-destilada Vegetal | 0,045           |
|                  | Fragrância                     | 0,005           |
|                  | EDTA Dissódico                 | 0,0025          |
|                  | Ácido Cítrico                  | 0,0025          |
|                  | Poliquatérnio-10               | 0,0025          |
|                  | B.H.T.                         | 0,0025          |

O material de embalagem que compõe um sabonete líquido da empresa EC é dado pelo frasco de PP. Para ilustração da composição da embalagem do sabonete em líquido tem-se a Tabela 5.43 para isso. O processo de produção dessa embalagem possui rendimento de 90% e a tabela ilustra a quantidade de polipropileno necessária para a produção de 1 kg de embalagem do sabonete líquido.

Tabela 5.43: Composição em kg polipropileno para a fabricação de 1 kg de embalagem do sabonete líquido.

| Sabonete Líquido      |               | Composição (kg) |
|-----------------------|---------------|-----------------|
| MATERIAL DE EMBALAGEM | Filme de BOPP | 1,10            |

Para facilitar a realização do ICV das matérias-primas do sabonete líquido, assim como realizado para o caso do sabonete em barra, dividiram-se essas matérias-primas e material de embalagem em sete grupos, sendo o último o ICV do próprio sabonete líquido:

- Água desmineralizada: inventário já ilustrado anteriormente;
- LESS (27% em ativo): inventário já ilustrado anteriormente;
- Cocoamido Propil Betaína: novo inventário;
- Glicerina Bi-Destilada Vegetal: novo inventário;
- Fragrância: inventário já ilustrado anteriormente;
- EDTA Dissódico, Ácido Cítrico, Poliquatérnio-10 e B.H.T.;
- Frasco de PP;

- Sabonete líquido (todos os outros componentes alocados com a quantidade correta e o inventário de descarte da embalagem).

Dos sete inventários que representam o sabonete líquido, três inventários já foram apresentados para o sabonete em barra, sendo eles, o inventário da Água desmineralizada, o do LESS (27% em ativo) e o da Fragrância. Sendo assim, esses inventários não serão detalhados novamente, apenas serão indicadas suas quantidades de consumo quando na descrição do inventário do sabonete líquido.

Os subsistemas estão representados para a unidade de 1 kg de cada material e, quando feito o subsistema de um sabonete líquido, as quantidades corretas de composição foram consideradas, como nas Tabela 5.42 e Tabela 5.43.

#### 5.2.6.1 Cocomido Propil Betaína

A Cocomido Propil Betaína é uma matéria-prima obtida por meio da reação entre o Ácido Graxo de Coco, a Dimetilamino Propilamina (DMAPA) e o Ácido Monocloroacético, em meio alcalino, como detalhado no capítulo 2, Pesquisa Bibliográfica, desse trabalho.

A modelagem do produto foi baseada em dados primários da empresa CG, a mesma fornecedora do LESS, referentes à produção da Cocomido Propil Betaína, na grande São Paulo, site da empresa CG.

As entradas para a produção da Cocomido Propil Betaína são: DMAPA, Ácido Monocloroacético, Ácido Graxo de Coco, Água Deionizada, Energia Elétrica e Gás Natural.

A matéria-prima Dimetilamina Propilamina (**DMAPA**) é importada da Europa e teve o seu modelo de inventário, para 1 kg de produto, conduzido da seguinte forma:

- inserção do inventário da Dimetilamina, dado médio da Europa, com o consumo de 0,035 kg;
- inserção do inventário de Acrilonitrila, dado médio da Europa, com o consumo de 0,042 kg;
- inserção do inventário de energia elétrica média europeia, com o consumo de 0,024 kWh/ kg de produto para a ocorrência da reação de amidação;
- inserção do inventário europeu de gás natural, com o consumo de 0,003 m<sup>3</sup> de gás natural/ kg de produto para a reação de amidação;

- inserção do inventário de Hidrogênio, com o consumo de 0,003 kg de hidrogênio para a reação de hidrogenação;
- inserção de outro inventário de energia elétrica média europeia, com o consumo de 0,024 kWh/ kg de produto para a ocorrência da reação de hidrogenação;
- inserção de outro inventário de gás natural, com o consumo de 0,037 m<sup>3</sup> de gás natural/ kg de produto para a reação de hidrogenação;
- inserção do inventário de transporte marítimo por containers, do DMA-PA da Europa para o Brasil, com a distância de 10.000 km;
- inserção do inventário de transporte rodoviário brasileiro do DMAPA do porto de Santos até a empresa CG, distantes 150 km.

O consumo de DMAPA para a reação de obtenção de 1 kg de Cocomido Propil Betaína é dado por 0,08 kg e o seu inventário pode ser visualizado na Tabela 5.44.

**Tabela 5.44: Inventário DMAPA.**

| PRODUTO  | 1           | kg   | Fonte                                       |
|--|-------------|------|---|
| <b>DMAPA</b>   |             |      |   |
| <b>MATERIAIS</b>   |             |      |   |
| Dimetilamina   | 0,035/0,192 | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Acrilonitrila  | 0,042/0,192 | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Hidrogênio líquido   | 0,003/0,192 | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Eletricidade, média voltagem, produção industrial média europeia/REF                                 | 0,048       | kWh  | Ecoinvent v2                                |
| Gás natural na indústria >100kW<br>(0,04 m <sup>3</sup> (0,0296 kg), Dens = 0,74 kg/m <sup>3</sup> ) | 260,48      | kcal | Ecoinvent v2                                |
| Transporte rodoviário/BR U   | 150         | kgkm | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| Transporte transoceânico por container/OCE U   | 15000       | kgkm | Ecoinvent v2                                |

O ácido Monocloroacético é importado da Alemanha e, para esse item, foi considerado o inventário europeu do *Ecoinvent v2* do Ácido Monocloroacético, com as seguintes considerações:

- consumo de 0,08 kg dessa matéria-prima;
- inserção do inventário de transporte marítimo por containers, do Ácido Monocloroacético da Europa para o Brasil, com a distância de 10.000 km;
- inserção do inventário de transporte rodoviário brasileiro do Ácido Monocloroacético do porto de Santos até a empresa CG, distantes 150 km.

O ácido graxo de coco é importado das Filipinas e para esse processo, há um inventário presente no *Ecoinvent v2* referente ao Ácido Graxo de Coco das Filipinas. Para essa entrada, as seguintes considerações foram estabelecidas:

- consumo de 0,17 kg dessa matéria-prima;
- inserção do inventário de transporte marítimo por containers, do Ácido Graxo de Coco da Europa para o Brasil, com a distância de 10.000 km;
- inserção do inventário de transporte rodoviário brasileiro do Ácido Graxo de Coco do porto de Santos até a empresa CG, distantes 150 km.

O hidróxido de sódio, 50% em água (meio alcalino da reação), é fabricado no Brasil e para esse inventário foi considerado o inventário adaptado às condições brasileiras, já detalhado anteriormente, com as seguintes considerações:

- consumo de 0,08 kg dessa matéria-prima;
- inserção do inventário de transporte rodoviário brasileiro do Hidróxido de Sódio até a empresa CG, distantes 120 km.

Para a reação de formação da Cocoamido Propil Betaína tem-se ainda o consumo de:

- inventário de energia elétrica média Brasil com o consumo de 0,147 kWh/ kg de Cocoamido Propil Betaína;
- inventário brasileiro de queima do gás natural com o consumo de 0,054 m<sup>3</sup> de gás natural/ kg de Cocoamido Propil Betaína.

O inventário da Cocoamido Propil Betaína, com as observações listadas sobre o ácido Monocloroacético, ácido graxo de coco e soda cáustica estão melhor detalhados na Tabela 5.45.

**Tabela 5.45: Inventário Cocoamido Propil Betaína.**

| PRODUTO  |            |      |   |
|--|------------|------|---|
| Cocoamido Propil Betaína   | 1          | kg   | Fonte                                       |
| <b>MATERIAS-PRIMAS</b>   |            |      |   |
| DMAPA  | 0,08       | kg   | Inventário DMAPA                            |
| Mix de produção da soda cáustica líquida, 50% em água                | 0,08       | kg   | Inventário mix de produção de soda cáustica |
| Óleo cru de coco industrial/PH U                                     | 0,17       | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Ácido cloroacético industrial/RER U                                  | 0,08       | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Água deionizada brasileira   | 0,59       | kg   | Inventário água deionizada brasileira       |
| Eletricidade, média voltagem, produção industrial média europeia/RER | 0,147      | kWh  | Ecoinvent v2                                |
| Gás natural na indústria média europeia                              | 351,648    | kcal | 0,04 m3 (0,0296 kg), Dens = 0,74 kg/m3      |
| Transporte rodoviário brasileiro                                     | 0,08*150   | kgkm | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| Transporte transoceânico por container                               | 0,08*10000 | kgkm | Ecoinvent v2                                |
| Transporte rodoviário brasileiro                                     | 0,17*150   | kgkm | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| Transporte transoceânico por container                               | 0,17*16000 | kgkm | Ecoinvent v2                                |
| Transporte rodoviário brasileiro                                     | 0,08*120   | kgkm | Inventário transporte rodoviário brasileiro |

## 5.2.6.2 Glicerina Bi-Destilada Vegetal

A Glicerina Bi-Destilada Vegetal é produzida a partir de óleos vegetais na hidrólise ou pela reação de transesterificação, principalmente, dos óleos de palma e palmiste, sendo bi-destilada a fim de atingir elevado grau de pureza.

A modelagem do produto foi baseada nas informações da empresa RZ, onde o processo de obtenção da Glicerina Bi-Destilada Vegetal é obtida a partir da reação de transesterificação.

O inventário do banco de dados do *Ecoinvent v2*, Glicerina, de óleo de palma, obtida pela reação de transesterificação, foi utilizado como ponto de partida para o inventário de fabricação de 1 kg de Glicerina Bi-Destilada Vegetal com as seguintes modificações:

- substituição do inventário de óleo de palma da Malásia pelo modelo de óleo de palma brasileiro;
- substituição do inventário europeu de energia elétrica europeu pelo brasileiro;
- substituição do inventário de água europeu para o modelo de água brasileiro;
- substituição do inventário de queima de gás natural europeu pelo inventário brasileiro;
- substituição do inventário europeu rodoviário pelo inventário brasileiro.

Os demais aspectos ambientais do inventário da glicerina foram mantidos sem modificações e podem ser visualizados na Tabela 5.46.

**Tabela 5.46: Inventário da Glicerina bi-destilada vegetal.**

| PRODUTO                                  |             |     |   |
|--|-------------|-----|---|
| Glicerina bi-destilada vegetal           | 1           | kg  | Fonte                                       |
| <b>MATERIAIS</b>                         |             |     |   |
| Óleo de palma brasileiro                 | 1,218850141 | kg  | Inventário óleo de palma brasileiro         |
| Metanol                                  | 0,13468     | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Eleticidade, média voltagem, Brasil      | 0,050145    | kWh | Inventário da eletricidade brasileira       |
| Queima de gás natural brasileiro         | 1,095209983 | MJ  | Inventário queima de gás natural brasileiro |
| Transporte rodoviário brasileiro         | 0,01536     | tkm | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| Planta vegetal de esterificação          | 1,108E-09   | p   | Ecoinvent v2                                |
| Água brasileira                          | 0,032395    | kg  | Inventário água brasileira                  |
| Ácido fosfórico                          | 0,0054565   | kg  | Ecoinvent v2                                |
| Hidróxido de potássio                    | 0,013463    | kg  | Ecoinvent v2                                |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>              |             |     |   |
| Geração de calor                         | 1,784152837 | MJ  | Ecoinvent v2                                |
| Dióxido de carbono biogénico             | 2,031089924 | kg  | Ecoinvent v2                                |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUO</b>             |             |     |   |
| Tratamento de esgoto, de águas residuais | 0,000074135 | m3  | Ecoinvent v2                                |

### 5.2.6.3 EDTA Dissódico, Ácido Cítrico, Poliquatérnio-10 e B.H.T.

Os componentes do sabonete líquido EDTA Dissódico, Ácido Cítrico, Poliquatérnio-10 e B.H.T. completam a sua composição final. Como eles representam 1% do total das matérias-primas e seus inventários não estão representados na base de dados do *Ecoinvent v2*, eles foram classificados em dois grupos, um dos químicos orgânicos, representado pelo EDTA Dissódico e Ácido Cítrico e, outro dos químicos inorgânicos, representado pelo Poliquatérnio-10 e B.H.T.

Assim como no sabonete em barra, para o inventário dos químicos orgânicos, foi escolhido o inventário do *Ecoinvent v2* Químicos orgânicos e adicionado o valor de 0,005 kg. E, para o inventário dos químicos inorgânicos, foi escolhido o inventário do *Ecoinvent v2* Químicos inorgânicos e adicionado o valor de 0,005 kg.

### 5.2.6.4 Frasco de PP

A produção do frasco de PP envolve como principal entrada do processo a matéria-prima polipropileno e o processo de transformação dessa resina em frasco, conhecido como processo de inventário de injeção.

Não foi possível obter informações do inventário de produção do polipropileno brasileiro, uma vez que as empresas brasileiras não divulgaram suas informações para o presente trabalho. Dessa forma, criou-se o inventário Frasco de PP com as seguintes características:

- inserção do inventário de polipropileno correspondente a entrada de polipropileno para a embalagem, na quantidade de 1,10 kg, sabendo-se, como dito anteriormente, que o processo possui rendimento de 90%;
- inserção do inventário brasileiro de moldagem de frasco por injeção, correspondente a entrada de transformação da resina em frasco e, adaptando esse modelo para as condições brasileiras, com a modificação da energia elétrica europeia para a brasileira, Tabela 5.47;
- inserção do inventário brasileiro de transporte rodoviário para o transporte do frasco de PP até a empresa EC, distância média de 100 km.

Como passo posterior da utilização do produto, ocorre o descarte do material de embalagem pelo consumidor, também conhecido como cenário de destino final. Segundo uma pesquisa de mercado realizada em 2010, pelo Instituto Socioambien-

tal dos Plásticos, a Plastivida, o índice de reciclagem nacional do polipropileno (PP) corresponde a 10,8%, ou seja, de cada 100 toneladas de PP utilizadas no Brasil, apenas 10,8 toneladas são recicladas e 89,2% toneladas vão direto para aterro. O inventário total do frasco de PP está ilustrado na Tabela 5.48.

**Tabela 5.47: Inventário da moldagem de frasco por injeção.**

| PRODUTO   | 1         | kg    | Fonte                                 |
|---|-----------|-------|---------------------------------------|
| <b>Moldagem de frasco por injeção</b>                               |           |       |                                       |
| <b>RECURSOS</b>   |           |       |                                       |
| Água de resfriamento  | in water  | 0,011 | Ecoinvent v2                          |
| <b>MATERIAIS</b>  |           |       |                                       |
| Óleo lubrificante   | 0,00303   | kg    | Ecoinvent v2                          |
| Solventes orgânicos   | 0,0447    | kg    | Ecoinvent v2                          |
| Químicos orgânicos  | 0,0128    | kg    | Ecoinvent v2                          |
| Dióxido de titânio  | 0,00199   | kg    | Ecoinvent v2                          |
| Pigmentos   | 0,00756   | kg    | Ecoinvent v2                          |
| Pallet  | 0,00146   | p     | Ecoinvent v2                          |
| Placa sólida branqueada   | 0,0000994 | kg    | Ecoinvent v2                          |
| Polietileno granulado de baixa densidade                            | 0,00169   | kg    | Ecoinvent v2                          |
| Polipropileno granulado   | 0,00358   | kg    | Ecoinvent v2                          |
| Eletricidade, média voltagem, Brasil                                | 1,48      | kWh   | Inventário da eletricidade brasileira |
| Calor, gás natural, >100kW  | 4,21      | MJ    | Ecoinvent v2                          |
| Calor, óleo de combustível pesado, 1MW                              | 0,229     | MJ    | Ecoinvent v2                          |
| Caixa de embalagem  | 1,43E-09  | p     | Ecoinvent v2                          |
| Transporte rodoviário brasileiro                                    | 0,142     | tkm   | Ecoinvent v2                          |
| <b>EMISSÕES PARA O AR</b>   |           |       |                                       |
| Geração de calor  | 5,33      | MJ    | Ecoinvent v2                          |
| <b>EMISSÕES PARA A ÁGUA</b>   |           |       |                                       |
| COD, Demanda química de oxigênio                                    | 0,0000928 | kg    | Ecoinvent v2                          |
| Sólidos suspensos   | 0,0000663 | kg    | Ecoinvent v2                          |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                                       |           |       |                                       |
| Eliminação de plásticos, mistura, 15,3% água, incineração municipal | 0,00567   | kg    | Ecoinvent v2                          |
| Eliminação de resíduos perigosos, aterro subterrâneo                | 0,0000331 | kg    | Ecoinvent v2                          |
| Resíduos sólidos municipais, 22,9% água, aterro sanitário           | 0,000895  | kg    | Ecoinvent v2                          |

**Tabela 5.48: Inventário Frasco de PP**

| PRODUTO                        | 1   | kg   | Fonte                                       |
|--------------------------------|-----|------|---|
| <b>Frasco PP</b>               |     |      |   |
| <b>MATERIAIS</b>               |     |      |   |
| Polipropileno granulado        | 1,1 | kg   | Ecoinvent v2                                |
| Moldagem de frasco por injeção | 1,1 | kg   | Inventário moldagem de frasco por injeção   |
| Transporte rodoviário          | 100 | kgkm | Inventário transporte rodoviário brasileiro |

### 5.2.6.5 Sabonete líquido

Para o processo de produção de 1 kg sabonete líquido utilizou-se como ponto de partida as quantidades das matérias-primas da Tabela 5.42 e criou-se um inventário de fabricação do Sabonete Líquido, com as seguintes observações abaixo, detalhadas na Tabela 5.50:

- Inserção do inventário brasileiro de Água deionizada;
- Inserção do inventário do Lauril Éter Sulfato de Sódio;
- Inserção do inventário Cocomido Propil Betaína;
- Inserção do inventário Glicerina Bi-Destilada Vegetal;
- Inserção do inventário de Fragrância;
- Inserção do inventário dos Químicos orgânicos;
- Inserção do inventário dos Químicos inorgânicos;

- Inserção da energia elétrica brasileiro com o consumo de 0,1 kWh (dados da empresa EC);
- Inserção dos inventários finais de transportes rodoviários das matérias-primas. As matérias-primas do sabonete líquido tiveram seu transporte final realizado pelo inventário de transporte rodoviário brasileiro e tiveram a sua quantidade (Tabela 5.42) multiplicada pela distância percorrida como entradas para o transporte. A Tabela 5.49 ilustra as distâncias médias das matérias-primas de diversos fornecedores até a empresa EC.

**Tabela 5.49 - Distâncias finais percorridas pelas matérias-primas do sabonete em barra.**

| Matérias-Primas          | Distâncias finais percorridas (km) |
|--------------------------|------------------------------------|
| Fragrância               | 100                                |
| Glicerina                | 45                                 |
| Cocoamido Propil Betaina | 120                                |
| Químicos Orgânicos       | 100                                |
| Químicos Inorgânicos     | 100                                |
| LESS                     | 100                                |

**Tabela 5.50: Inventário da fabricação do sabonete líquido.**



| PRODUTO  |             |           |   |
|--|-------------|-----------|---|
| <b>Sabonete Líquido, at plant/BR U</b>                       | <b>1</b>    | <b>kg</b> | <b>Fonte</b>                                |
| <b>MATERIAIS</b>   |             |           |   |
| Lauril Éter Sulfato de Sódio (LESS)                          | 0,2         | kg        | Inventário LESS                             |
| Cocoamido Propil Betaína                                     | 0,1         | kg        | Inventário Cocoamido Propil Betaína         |
| Glicerina  | 0,045       | kg        | Inventário Glicerina                        |
| Fragrância   | 0,005       | kg        | Inventário Fragrância                       |
| Água deionizada brasileira                                   | 0,64        | kg        | Inventário água deionizada brasileira       |
| Químicos orgânicos   | 0,005       | kg        | Ecoinvent v2                                |
| Químicos inorgânicos   | 0,005       | kg        | Ecoinvent v2                                |
| Eletricidade, média voltagem, Brasil                         | 0,1         | kWh       | Inventário da eletricidade brasileira       |
| Planta química   | 4E-10       | p         | Ecoinvent v2                                |
| Transporte rodoviário brasileiro do LESS                     | 0,2*120     | kgkm      | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| Transporte rodoviário brasileiro da Cocoamido Propil Betaína | 0,1*100     | kgkm      | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| Transporte rodoviário brasileiro da Glicerina                | 0,045*3300  | kgkm      | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| Transporte rodoviário brasileiro da Fragrância               | 0,005*25    | kgkm      | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| Transporte rodoviário brasileiro de Outros orgânicos         | 0,005*100   | kgkm      | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| Transporte rodoviário brasileiro de Outros inorgânicos       | 0,005*100   | kgkm      | Inventário transporte rodoviário brasileiro |
| <b>EMISSIONES PARA O AR</b>                                  |             |           |   |
| Particulados   | 0,000151    | kg        | Ecoinvent v2                                |
| NMVOG, Compostos orgânicos voláteis não-metano               | 0,0000045   | kg        | Ecoinvent v2                                |
| Dióxido de enxofre   | 0,0000111   | kg        | Ecoinvent v2                                |
| Monóxido de carbono  | 0,0000332   | kg        | Ecoinvent v2                                |
| Metano   | 0,000178    | kg        | Ecoinvent v2                                |
| Mercurio   | 0,00000033  | kg        | Ecoinvent v2                                |
| Cloro  | 6,11E-08    | kg        | Ecoinvent v2                                |
| Dióxido de carbono   | 0,000035    | kg        | Ecoinvent v2                                |
| Dióxido de carbono biogênico                                 | 0,00635     | kg        | Ecoinvent v2                                |
| <b>EMISSIONES PARA A AGUA</b>                                |             |           |   |
| Acidez   | 0,00000419  | kg        | Ecoinvent v2                                |
| Sólidos dissolvidos  | 0,00244     | kg        | Ecoinvent v2                                |
| Sólidos suspensos  | 0,00144     | kg        | Ecoinvent v2                                |
| BOD5, Demanda biológica por oxigênio                         | 0,00134     | kg        | Ecoinvent v2                                |
| COD, Demanda química por oxigênio                            | 0,00638     | kg        | Ecoinvent v2                                |
| Sulfeto  | 0,0000027   | kg        | Ecoinvent v2                                |
| Cromo  | 0,000000201 | kg        | Ecoinvent v2                                |
| Ferro  | 0,00061     | kg        | Ecoinvent v2                                |
| Níquel   | 3,53E-08    | kg        | Ecoinvent v2                                |
| Mercurio   | 3,82E-08    | kg        | Ecoinvent v2                                |
| Chumbo   | 1,61E-08    | kg        | Ecoinvent v2                                |
| Nitrogênio   | 0,00000606  | kg        | Ecoinvent v2                                |
| Zinco  | 0,00000177  | kg        | Ecoinvent v2                                |
| <b>TRATAMENTO DE RESÍDUOS</b>                                |             |           |   |
| Eliminação de resíduos inertes, 5% água, em aterros inertes  | 0,00239     | kg        | Ecoinvent v2                                |

Para o processo de produção de 1 SKU de sabonete líquido, Tabela 5.51, consideraram-se as seguintes entradas:

- inventário Sabonete Líquido com o valor de 300 g;
- inserção do inventário de uso do sabonete pelo consumidor. E, de acordo com o item 5.1.1, um sabonete em barra de 100 g corresponde a 25 banhos;
- inventário do Frasco PP com o valor de 35 g.

**Tabela 5.51: Inventário de 1 SKU do sabonete líquido.**

| PRODUTO                         |          |                |  |
|---------------------------------|----------|----------------|--|
| <b>SKU Sabonete Barra</b>       | <b>1</b> | <b>produto</b> | <b>Fonte</b>                               |
| <b>MATERIAIS</b>                |          |                |  |
| Fabricação do sabonete em barra | 100      | g              | Inventário fabricação do sabonete em barra |
| Filme BOPP                      | 6        | g              | Inventário filme de BOPP                   |

Para o processo de ciclo de vida do sabonete líquido, consideraram-se as seguintes entradas:

- 1 sabonete líquido;
- Cenário de destino final de 1 sabonete líquido (detalhado no item do frasco de PP).

### **5.3 Avaliação de Impacto**

Depois de concluído o ICV, foi realizada a avaliação de impacto de ciclo de vida, a partir dos dados de inventário. A metodologia de avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV) escolhida para o presente trabalho foi o RECIPE 2008 *Endpoint Hierararchist* por meio do software SIMAPRO v7, com a finalidade de se obter maior comparabilidade dos resultados e com o objetivo de avaliar para cada sabonete, em barra ou líquido, qual ou quais são os subsistemas são os mais impactantes.

Para o primeiro elemento obrigatório, a etapa de seleção das categorias de impacto, foram selecionadas as 18 categorias de impacto presentes no método RECIPE 2008 e detalhadas na Revisão Bibliográfica. Aqui as categorias de impacto Eutrofização de água doce e Eutrofização marinha foram representadas pela categoria de impacto Eutrofização da água e, portanto, apenas 17 categorias de impacto foram representadas.

A avaliação de 17 categorias de impacto pode ser muito difícil e, por isso, o método RECIPE 2008 *endpoint* realiza o agrupamento dessas categorias de impacto para três tipos de danos: danos à saúde humana, danos ao ecossistema e danos à disponibilidade de recursos, sendo as 17 categorias de impacto agrupadas nesses três principais danos, segundo a Tabela 3.2, ilustrada na Revisão Bibliográfica.

Para a etapa de classificação, o método RECIPE 2008 correlaciona os dados do inventário coletados e apresentados no item 5.2 com as categorias de impacto ambiental selecionadas na etapa anterior, de seleção das categorias de impacto.

Para a etapa de caracterização, o método RECIPE 2008 quantifica as contribuições para cada problema ambiental, convertendo os resultados do inventário para unidades comuns, os indicadores, e agregando os resultados convertidos dentro da mesma categoria de impacto.

No procedimento de normalização, realizado após a caracterização dos danos, são empregados valores de referência baseados no inventário total de emissões de um cidadão médio europeu, utilizando como ano base o ano de 2000.

Para a etapa de ponderação são apresentados pelo RECIPE 2008 três sistemas de valores, sendo eles: igualitário (com distribuição uniforme de pesos), individualista (com atribuição de pesos maiores para danos associados à saúde humana) e hierárquico (com atribuição de pesos maiores para danos associados ao meio ambiente). Apesar desta distinção, o modelo hierárquico é sugerido pelos autores do

método e foi o modelo escolhido para o presente estudo. O agrupamento dos resultados em um índice único também é recomendado (GOEDKOP et al., 2001).

### 5.3.1 AICV Comparação dos sabonetes

Para a comparação do desempenho ambiental dos dois sabonetes cosméticos, foi utilizado o método RECIPE 2008 *endpoint hierarchist*.

Como detalhado anteriormente, para atender a unidade funcional determinada neste estudo, lavar 50 corpos, são necessários 2 sabonetes em barra e, 1 sabonete líquido. Dessa forma, a AICV da comparação dos sabonetes comparou o desempenho ambiental do ciclo de vida de 2 sabonetes em barra *versus* o ciclo de vida de 1 sabonete líquido.

Primeiramente, fez-se a comparação ambiental dos dois sabonetes cosméticos por meio da etapa de caracterização, possibilitando a análise da contribuição relativa das múltiplas entradas e saídas de cada categoria para os determinados potenciais impactos, como mostra a Figura 5.3.

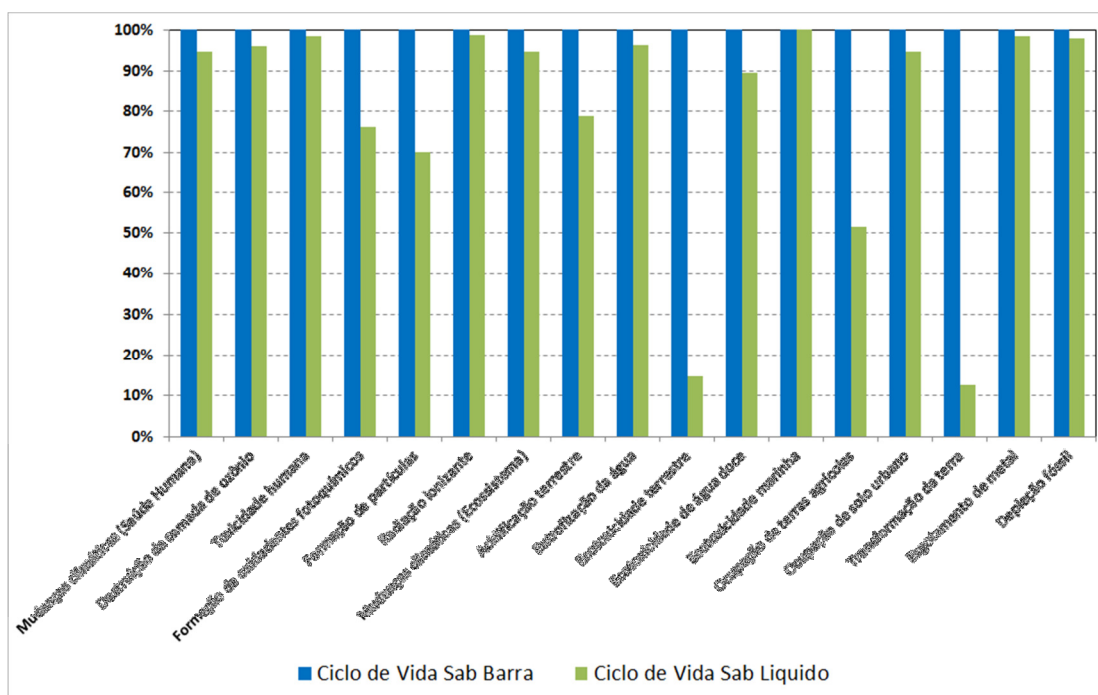
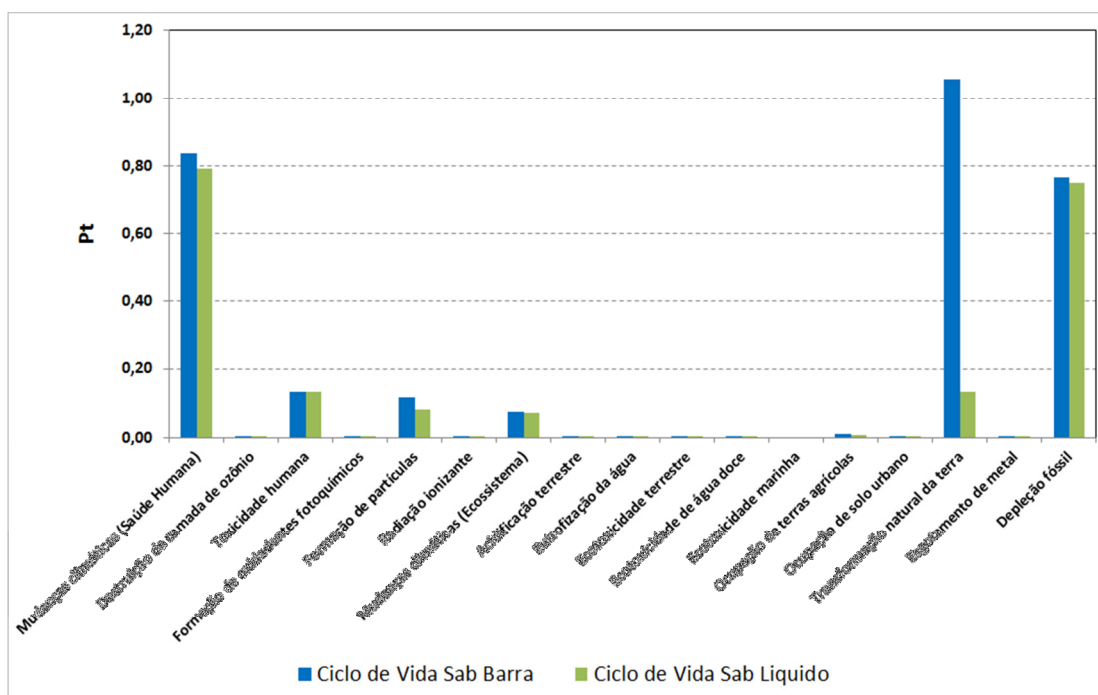


Figura 5.3: Comparação dos dois sabonetes pelo método RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7) – Dados caracterizados.

Ao analisar a Figura 5.3, observa-se que o ciclo de vida do sabonete em barra possui maior contribuição de impacto na maioria das categorias de impacto representadas pelo método RECIPE 2008, mas não é possível verificar para qual categoria de impacto ele está exercendo maior contribuição.

E, assim, como dito anteriormente, o resultado da caracterização é uma lista de impactos de difícil interpretação, principalmente quando se trata de estudos de ACV comparativos. Dessa forma, realiza-se a etapa de normalização, com o objetivo de prover uma melhor avaliação da magnitude dos resultados da caracterização. A Figura 5.4 ilustra os dados normalizados da comparação dos dois sabonetes cosméticos.



**Figura 5.4: Comparação dos dois sabonetes pelo método RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7) – Dados normalizados.**

A partir da Figura 5.4 observa-se que as categorias de impacto mais significativas para o sabonete em barra são Mudanças climáticas (dano à saúde humana), Transformação da terra e Depleção de fósseis. Já para o sabonete líquido, as categorias de impacto mais significativas são Mudanças climáticas (dano à saúde humana) e Depleção de fósseis.

Como detalhado anteriormente, o método RECIPE, após a etapa de normalização, realiza o agrupamento dessas 18 categorias de impacto (nível *midpoint*) em apenas 3 categorias de impacto (nível *endpoint*), sendo elas: Dano a saúde humana; Dano ao ecossistema e; Dano aos recursos naturais. A Figura 5.6 ilustra o agrupamento realizado pelo método para os dois ciclos de vida do estudo.

Observa-se nesse agrupamento que os ciclos de vida dos dois sabonetes são mais impactantes para os danos a saúde humana e aos recursos naturais.

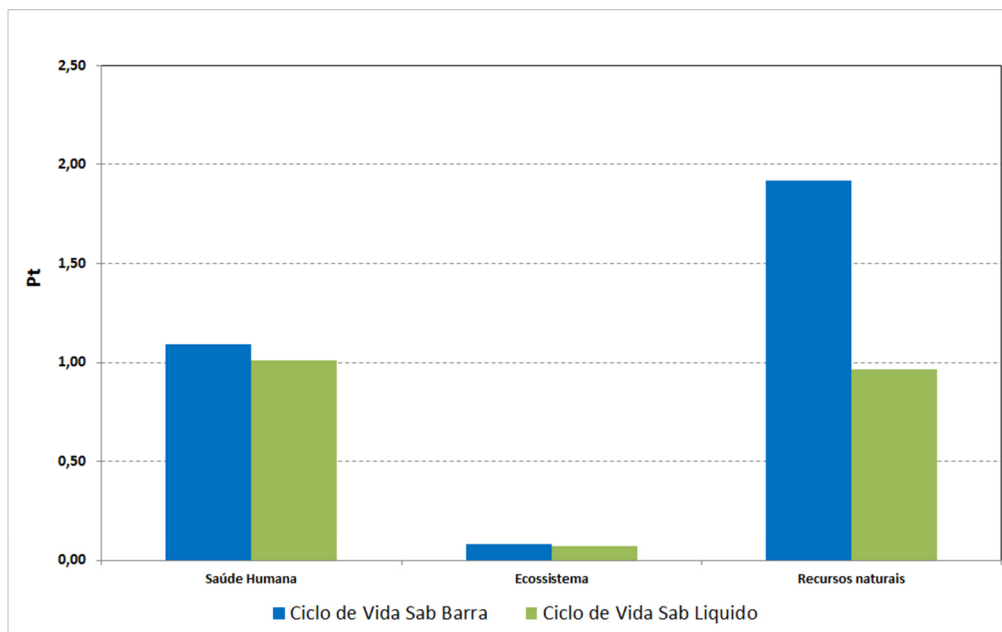


Figura 5.5: Comparação dos dois sabonetes pelo método RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7) – Dados agregados.

Com o objetivo de agregar as categorias de impacto de modo ponderado, formando um único indicador do desempenho ambiental do sistema de produto, realizou-se a etapa de ponderação pelo método RECIPE, utilizando o sistema hierárquico.

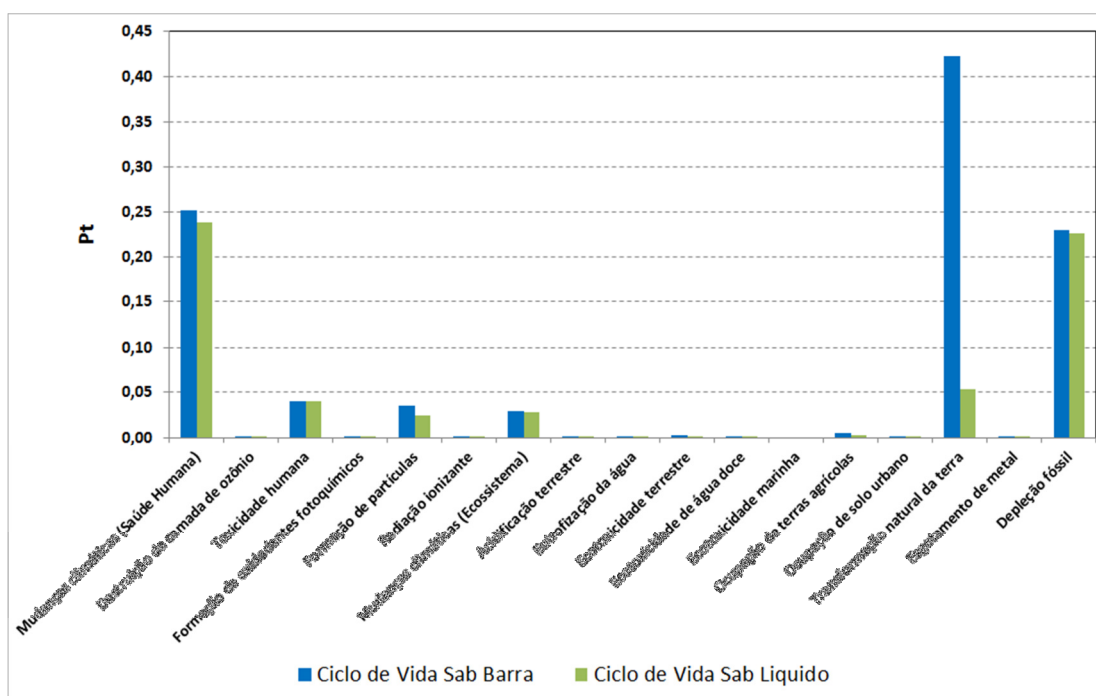
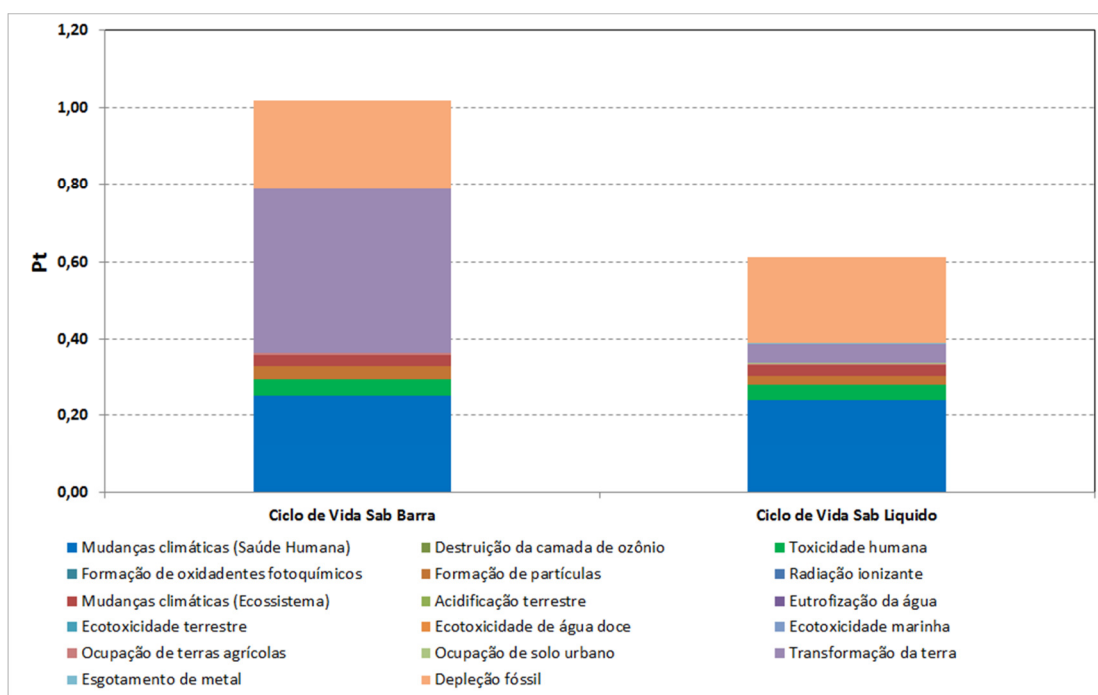


Figura 5.6: Comparação dos dois sabonetes pelo método RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7) – Dados ponderados.

Observa-se por meio da comparação da Figura 5.6 com a Figura 5.4 que houve uma diminuição no valor total dos impactos Mudanças climáticas (danos a saúde humana), Transformação da terra e Depleção fóssil, uma vez que a ponderação pelo sistema hierárquico fornece maiores valores para as categorias de impacto relacionadas ao meio ambiente, nesse caso, ao Ecossistema.

Por fim, fez-se a comparação em pontuação única, que consiste na soma dos dados ponderados das categorias de impacto dos dois sabonetes do estudo, Figura 5.7, com o objetivo de encontrar qual o sabonete que possui o ciclo de vida menos impactante.



**Figura 5.7: Comparação dos dois sabonetes pelo método RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7) – Pontuação única.**

A partir da Figura 5.7, observa-se que o ciclo de vida do sabonete em barra possui impacto total de 1,02 Pt e, o ciclo de vida do sabonete líquido possui impacto total de 0,61 Pt, ilustrando dessa forma que o sabonete líquido possui impacto global menor que o sabonete em barra.

Pela mesma figura é possível observar que a categoria de impacto que possui o maior impacto para o ciclo de vida do sabonete em barra é a transformação da terra. As demais categorias de impacto contribuem de forma muito similar para os dois sabonetes.

O próximo item irá detalhar melhor quais os subsistemas que estão relacionados às categorias de impacto mais significativas da comparação dos dois sabonetes cosméticos.

### 5.3.2 Identificação das oportunidades de melhorias no desempenho ambiental desses sabonetes

Para uma melhor visualização de qual subsistema pode estar contribuindo mais para as categorias de impacto mais significativas da comparação dos sabonetes, fez-se uma representação por diagrama de Sankey do software SIMAPRO, para cada uma dessas categorias de impacto. Esse tipo de representação, Sankey, permite a representação/ visualização das redes com setas de largura proporcional à quantidade de fluxos de materiais.

Pelo item anterior, tem-se que para o sabonete em barra, as categorias mais significativas foram: Mudanças climáticas (dano à saúde humana), Transformação da terra e Depleção fóssil e, para o sabonete líquido, foram: Mudanças climáticas (dano à saúde humana) e Depleção fóssil.

A Figura 5.8 ilustra a rede da categoria de impacto de Mudanças climáticas (dano à saúde humana) para o sabonete em barra com corte de 5%, ou seja, substâncias que tiveram valor abaixo de 5% na representação total, não entraram na figura por serem pouco representativas.

A partir da análise da Figura 5.8, observa-se que o subsistema que promove uma maior contribuição (quase 50%) para a categoria de impacto Mudanças Climáticas (danos à saúde humana) está relacionado à geração de energia elétrica por hidrelétricas, presente na matriz energética brasileira, uma vez que pelo modelo do *Ecoinvent v2*, ela corresponde a quase 80% da matriz de energia elétrica brasileira.

A Figura 5.9 ilustra a rede da categoria de impacto de Transformação da terra para o sabonete em barra com corte de 5%, ou seja, substâncias que tiveram valor abaixo de 5% na representação total, não entraram na figura por serem pouco representativas.

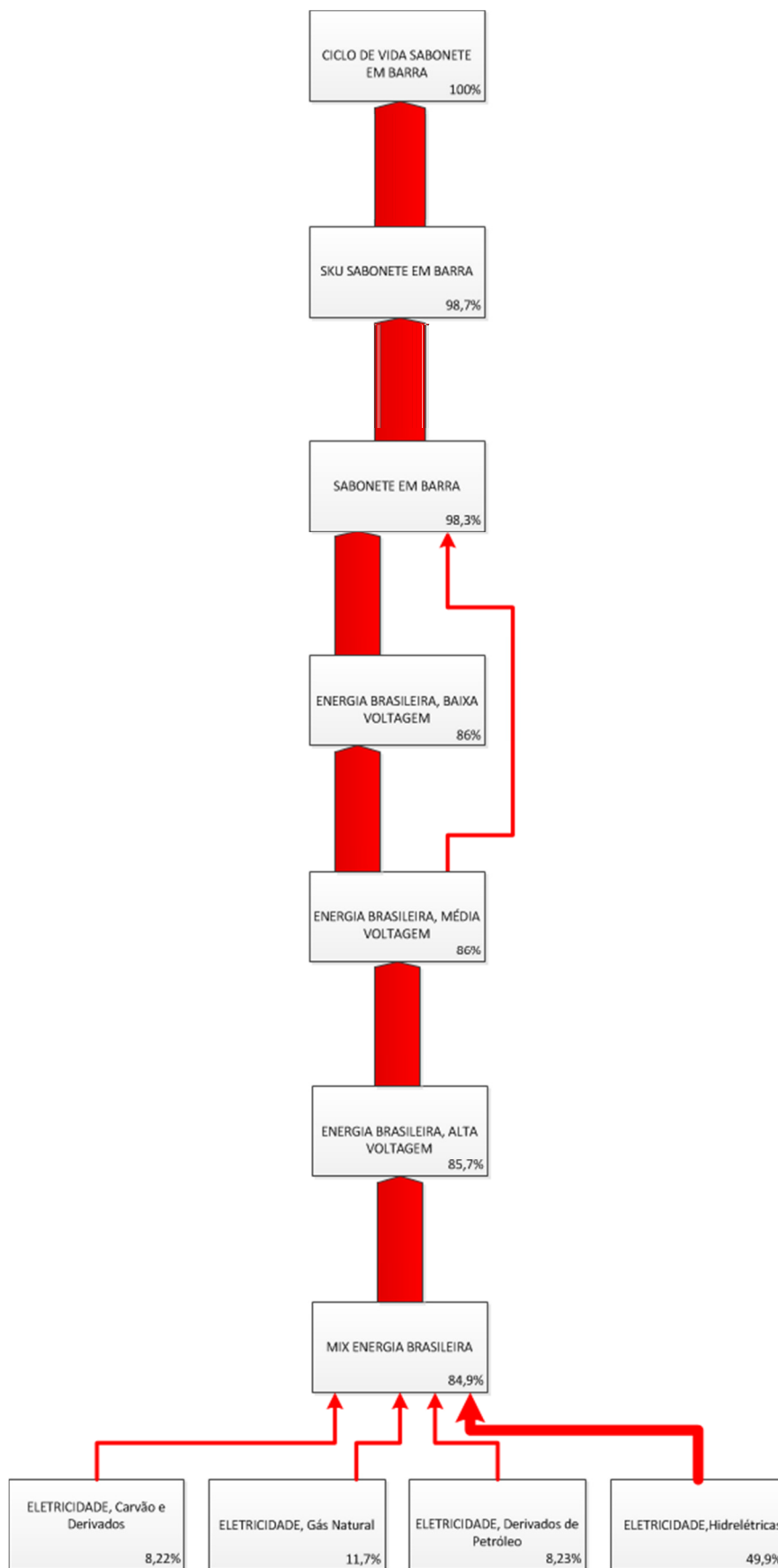


Figura 5.8: Representação em sankey da categoria de impacto Mudanças Climáticas (saúde humana) para o sabonete em barra pelo método RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7).



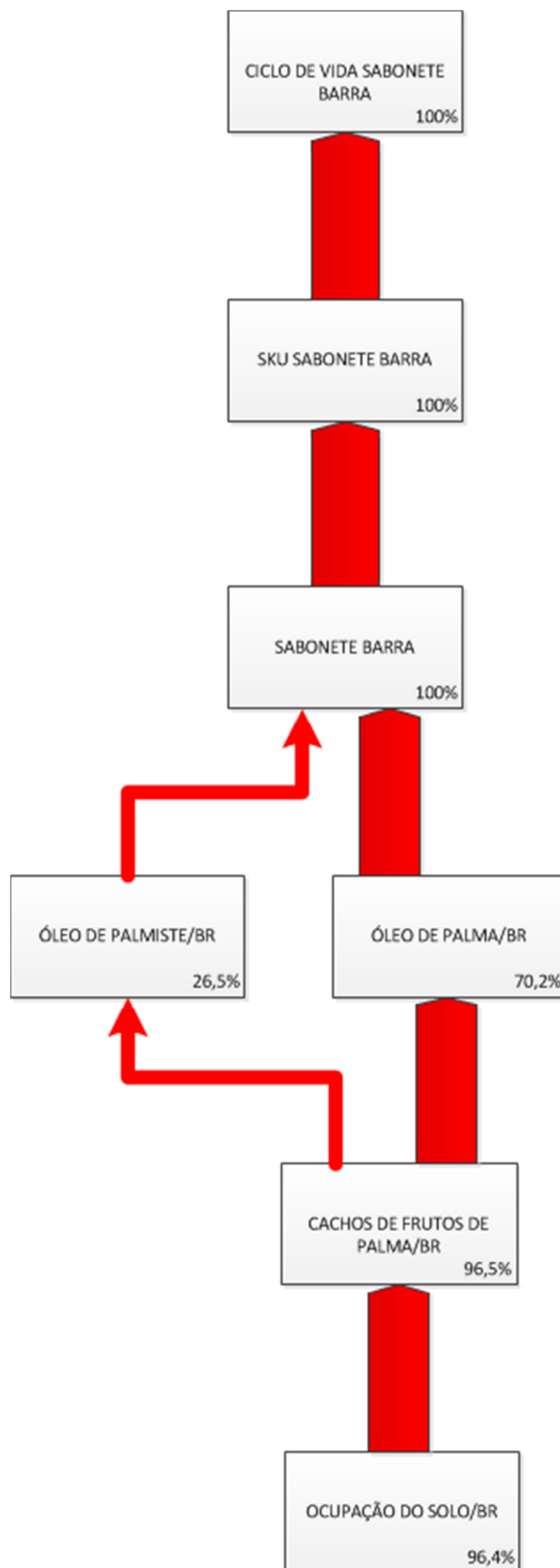
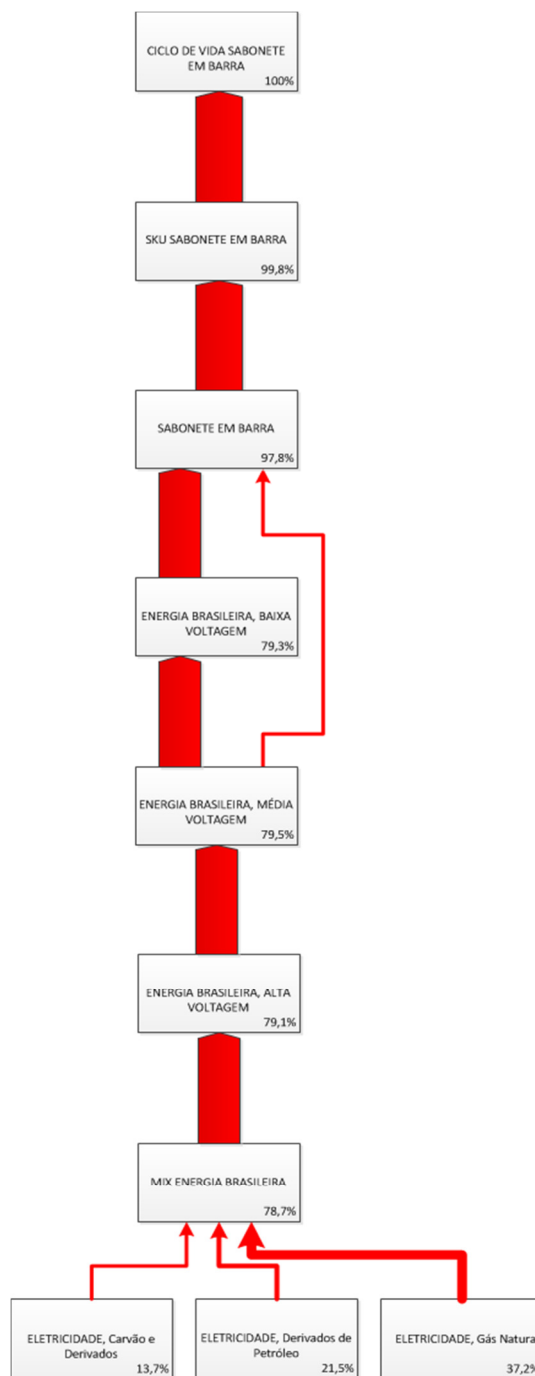


Figura 5.9: Representação em sankey da categoria de impacto Transformação da terra para o sabonete em barra pelo método RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7).

A partir da análise da Figura 5.9, observa-se que o subsistema que promove a maior contribuição (quase 97%) para a categoria de impacto Transformação da terra está relacionado à disposição de terra para a plantação de palma brasileira.

A Figura 5.10 ilustra a rede da categoria de impacto de Depleção fóssil para o sabonete em barra com corte de 5%, ou seja, substâncias que tiveram valor abaixo de 5% na representação total, não entraram na figura por serem pouco representativas.



**Figura 5.10: Representação em sankey da categoria de impacto Depleção fóssil para o sabonete em barra pelo método RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7).**

A partir da análise da Figura 5.10, observa-se que o subsistema que promove a maior contribuição (quase 79%) para a categoria de impacto Depleção Fóssil está relacionado à matriz energética brasileira, principalmente pela representatividade dos combustíveis fósseis na matriz, que de acordo com o modelo do *Ecoinvent v2*, corresponde a quase 8% da matriz de energia elétrica brasileira.

A Figura 5.11 ilustra a rede da categoria de impacto de Mudanças climáticas (dano à saúde humana) para o sabonete líquido com corte de 5%, ou seja, substâncias que tiveram valor abaixo de 5% na representação total, não entraram na figura por serem pouco representativas.

Assim como ocorre para o sabonete líquido, analisando-se a Figura 5.11, observa-se que o subsistema que promove uma maior contribuição (quase 50%) para a categoria de impacto Mudanças Climáticas (danos à saúde humana) está relacionado à matriz energética brasileira, principalmente à geração de energia elétrica por hidrelétricas, uma vez que pelo modelo do *Ecoinvent v2*, ela corresponde a quase 80% da matriz de energia elétrica brasileira.

A Figura 5.12 ilustra a rede da categoria de impacto de Depleção fóssil para o sabonete em barra com corte de 5%, ou seja, substâncias que tiveram valor abaixo de 5% na representação total, não entraram na figura por serem pouco representativas.

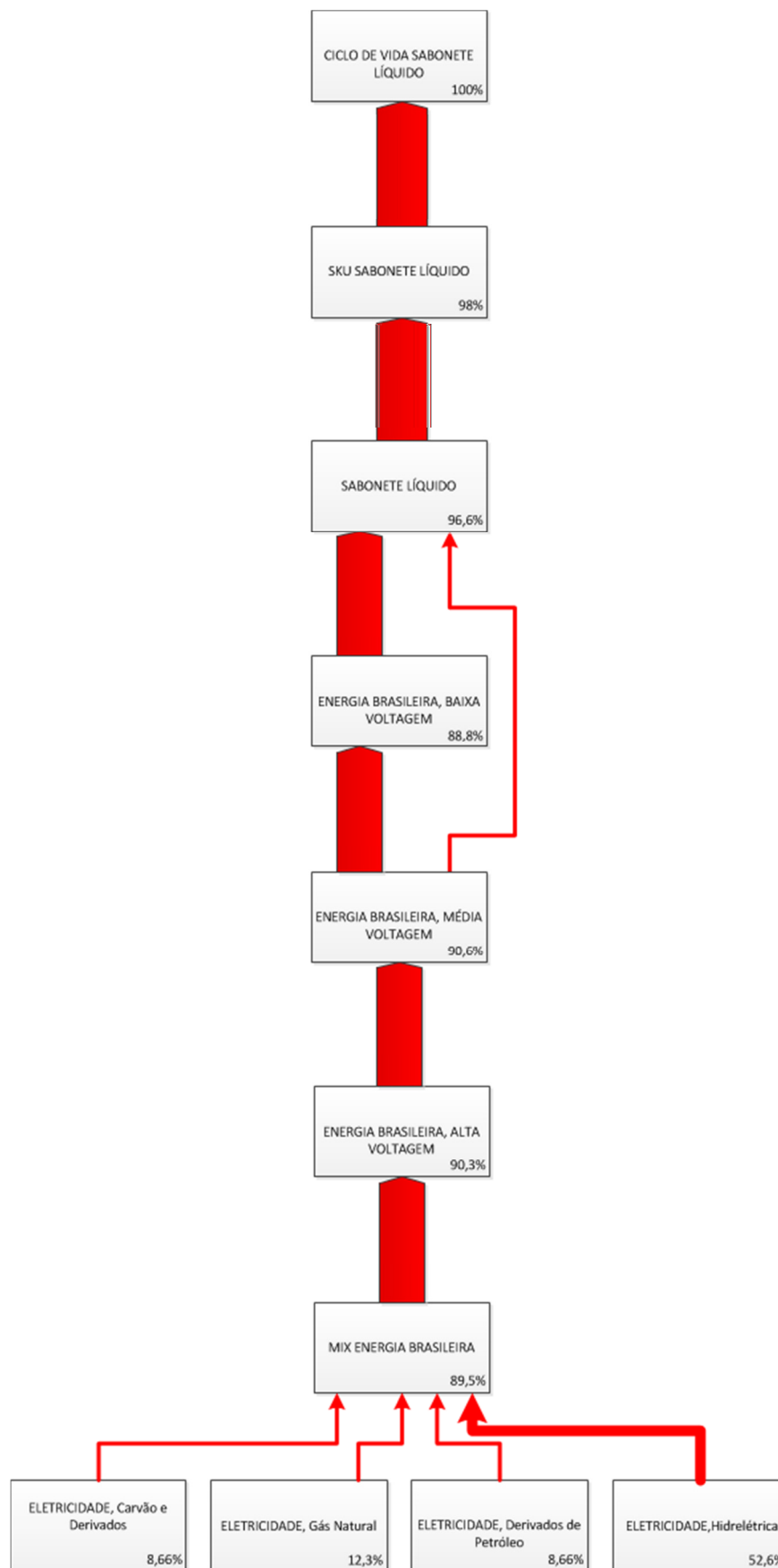


Figura 5.11: Representação em sankey da categoria de impacto Mudanças Climáticas (saúde humana) para o sabonete em barra pelo método RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7).

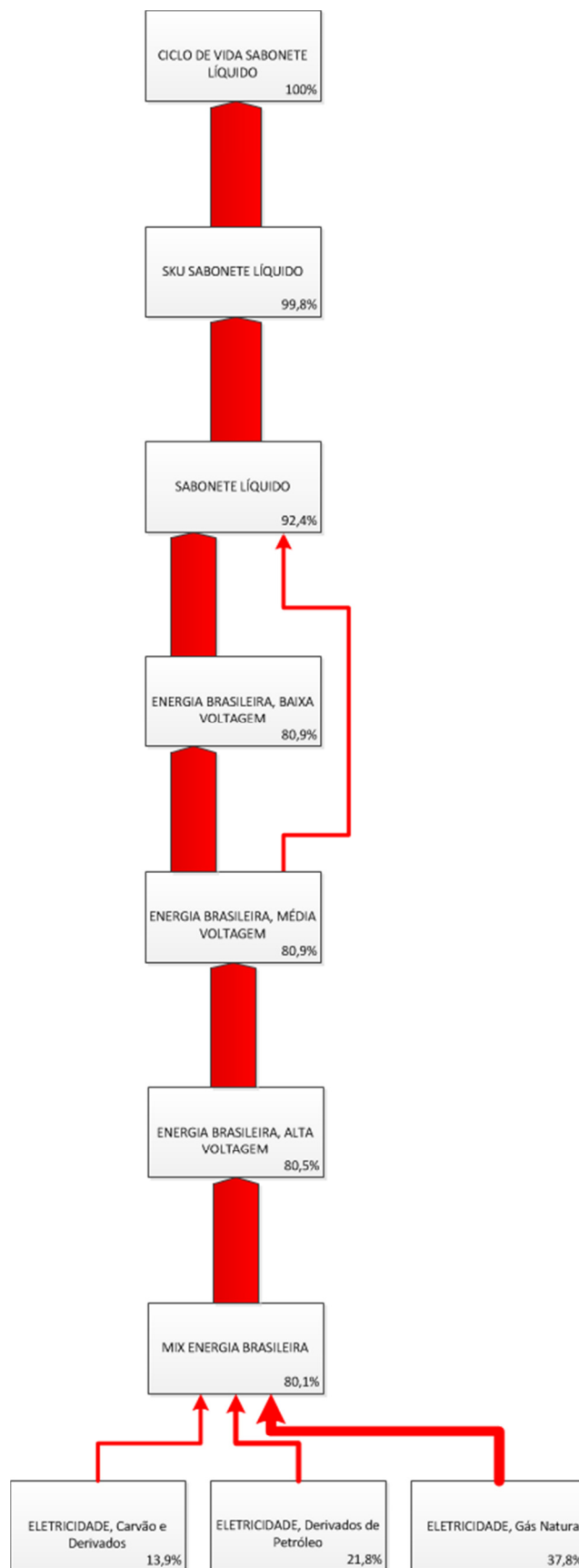


Figura 5.12: Representação em sankey da categoria de impacto Depleção fóssil para o sabonete em barra pelo método RECIPE 2008 H (SIMAPRO v7).

A partir da análise da Figura 5.12, observa-se que o subsistema que promove a maior contribuição (mais de 80%) para a categoria de impacto Depleção Fóssil está relacionado à matriz energética brasileira, assim como ocorre para o sabonete em barra, principalmente pela representatividade dos combustíveis fósseis na matriz, que de acordo com o modelo do *Ecoinvent v2*, corresponde a quase 8% da matriz de energia elétrica brasileira.

#### **5.4 Interpretação dos Resultados**

Conforme a norma ABNT NBR ISO 14044 (2009b) a interpretação do ciclo de vida é um procedimento iterativo e sistemático que tem como objetivo: identificar, qualificar, verificar, analisar os resultados, esclarecer limitações e sugerir recomendações.

Com os resultados obtidos por meio da abordagem do RECIPE 2008 é possível concluir que o ciclo de vida do sabonete líquido tem menor impacto global que o ciclo de vida do sabonete em barra.

De acordo com os resultados dos inventários obtidos e da avaliação de impactos, os subsistemas que se destacaram nesse estudo são referentes à matriz energética brasileira e à plantação da palma, sendo as categorias de impacto mais representativas as de Mudanças climáticas (danos à saúde humana), Transformação da terra e Depleção fóssil.

A matriz energética brasileira contribui para duas das categorias de impacto mais representativas, as Mudanças climáticas (danos à saúde humana) e Depleção fóssil.

O impacto nas Mudanças climáticas da matriz energética brasileira ocorre porque embora a hidroeletricidade seja a principal fonte de energia da matriz energética brasileira, de acordo com o *Ecoinvent v2* (cerca de 80%) e ser uma fonte renovável de energia, que utiliza água corrente para produzir eletricidade, sem contudo reduzir sua quantidade, há emissões de gases de efeito estufa, por meio da decomposição de árvores acima da água que emitem gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e há também a liberação de metano na zona de depleciamento (área do fundo do reservatório), onde há ausência de oxigênio e a vegetação presente produz gás metano (CH<sub>4</sub>).

Já para o impacto na Depleção Fóssil da matriz energética brasileira ocorre porque segundo dados do *Ecoinvent v2*, há geração de energia no Brasil, por volta

de 7%, oriunda de combustíveis fósseis como o gás natural, que provocam a depleção de fósseis.

A partir da análise dos inventários é possível observar que o subsistema que possui o maior consumo de energia elétrica brasileira e, portanto, pode ser grande responsável por promover esses impactos ambientais está relacionado ao modo de uso do sabonete cosmético durante o banho, que consome essa energia para promover o aquecimento da água utilizada durante o banho.

Uma sugestão para a redução desses impactos relacionados à energia elétrica brasileira pode ser a redução do tempo no banho e/ou a utilização de outro tipo de chuveiro com o consumo de energia menor que o utilizado no presente trabalho. Outra sugestão seria o desenvolvimento de um sabonete cosmético que não fosse necessário a utilização da água para o seu consumo, sendo consumido a seco.

A plantação da palma contribui para uma das categorias de impacto mais representativas, a Transformação da terra, para o sabonete em barra. A partir dos inventários realizados para o óleo de palma, tanto no Brasil, como para a Malásia, observou-se que para ocorrer a plantação da palma que dará origem a esse óleo de palma, acontece um desmatamento da floresta tropical (Brasil ou Malásia), segundo o *Ecoinvent v2*.

Esse desmatamento só ocorre quando é realizada a primeira plantação de palma nesse solo, pois as seguintes plantações ocorrem nesse mesmo solo e, esse reuso do solo para essas plantações não é contabilizado no subsistema da plantação de palma, sendo sempre considerado o desmatamento de uma floresta tropical.

Dessa forma, uma sugestão de reduzir a contribuição da categoria de impacto Transformação da terra para a avaliação de ciclo de vida dos sabonetes cosméticos seria modelar esse subsistema do *Ecoinvent v2* considerando essa etapa de reuso do solo da plantação da palma.

## 6 Conclusões

A avaliação de ciclo de vida de dois sabonetes cosméticos no Brasil foi realizada inventariando os seus ciclos de vida produtivos, sua etapa de uso e os descartes finais das suas embalagens, avaliando os potenciais impactos utilizando o método RECIPE 2008.

Com base nos inventários realizados pode-se concluir que eles conseguiram representar os sistemas de produto dos sabonetes cosméticos do presente estudo.

A comparação dos ciclos de vida dos sabonetes cosméticos foi realizada entre dois sabonetes em barra *versus* um sabonete líquido e, com base na avaliação do inventário e nos resultados da avaliação de impacto é possível concluir que o ciclo de vida do sabonete líquido possui menor impacto global que o ciclo de vida do sabonete em barra.

As categorias de impacto mais representativas no estudo foram as Mudanças climáticas, Transformação da terra e Depleção fóssil. E os subsistemas que mais contribuíram para essas categorias de impacto foram a matriz energética brasileira e a plantação da palma.

Para as categorias de impacto Mudanças climáticas e Depleção fóssil observou-se a grande contribuição da matriz energética brasileira e, a partir da avaliação do inventário descobriu-se que o subsistema da etapa de uso do sabonete cosmético é o principal consumidor de energia elétrica para o aquecimento da água durante o banho.

Para a categoria de impacto Transformação da terra, significativa apenas para o sabonete em barra, observou-se um alto impacto no subsistema de plantação de palma, principalmente para o ciclo de vida do sabonete em barra, que utiliza grande quantidade de óleo de palma em sua composição.

Pode-se observar também que a quantidade final de água presente na composição dos sabonetes influencia em seu desempenho ambiental, uma vez que para o sabonete líquido ela é seis vezes maior que para o sabonete em barra, fazendo com que o sabonete líquido possua uma maior eficiência no seu desempenho técnico, mesmo com a alta quantidade de água presente em sua formulação, quando comparado com o sabonete em barra.



Os resultados obtidos no presente estudo demonstraram que a ferramenta de ACV pode ser aplicada à realidade brasileira, desde que sejam tomadas algumas precauções.

A realização/ compilação de um banco de dados com inventários nacionais facilitará a aplicação da ferramenta de ACV localmente, assim como o desenvolvimento de uma metodologia nacional de AICV, que leve em consideração as peculiaridades locais, promoverão uma melhor tomada de decisão por meio do uso da ferramenta de ACV.

## 7 Recomendações

Este trabalho teve como objetivo realizar a comparação ambiental de dois sabonetes cosméticos e, a partir das conclusões obtidas no estudo é possível sugerir algumas recomendações de trabalhos futuros, que serão listadas abaixo.

As etapas do ciclo de vida dos sabonetes cosméticos do estudo apresentam grande similaridade com algumas etapas de outros produtos cosméticos, como xampu, óleo para banho etc. Portanto, a partir deste estudo de ACV para sabonetes cosméticos, adaptado para as condições brasileiras, recomenda-se como trabalho futuro, sua aplicação para outros produtos cosméticos com o objetivo de ampliar o uso da ferramenta de ACV na indústria cosmética.

A etapa do sabonete em barra mais impactante está relacionada com a plantação da palma, devido à presença significativa de óleo de palma em sua composição. Desta forma, fazem-se duas recomendações de trabalhos futuros que podem promover redução dessa categoria de impacto: 1) modelar o subsistema de plantação de palma do *Ecoinvent v2* considerando o reuso do solo para plantação, detalhado anteriormente ou; 2) substituir o óleo de palma por outro óleo vegetal menos impactante.

Recomenda-se também que esses trabalhos contemplem a sustentabilidade do ciclo de vida, estudo que pode ilustrar a importância social da utilização do óleo de palma e da sua relevância para o desenvolvimento da região amazônica.

Para a etapa de uso dos sabonetes, observa-se que o principal impacto está relacionado com a energia elétrica consumida durante o banho e, para a redução do impacto ambiental dessa energia, sugere-se um trabalho variando o tipo de energia disponível para o chuveiro e variando o tempo gasto no banho pelos usuários.

Sugere-se também trabalhos com desenvolvimentos de metodologias nacionais de AICV, que poderão trazer mais realidade aos trabalhos nacionais.

## 8 Referências Bibliográficas<sup>1</sup>

- ABIHPEC. Associação Brasileira de Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos.** São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.crq4.org.br/downloads/higiene.pdf>. Acessado em 30 de maio de 2012.
- ABIHPEC. Associação Brasileira de Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos. **Panorama do setor, 2011.** Disponível em: <http://www.abihpec.org.br/wp-content/uploads/2012/04/Panorama--do-setor-2011-2012-17-ABR-2012.pdf>. Acessado em 30 de maio de 2012.
- ALMEIDA, J. et al. Incorporação da variável ambiental às decisões econômicas: um estudo de caso em uma processadora de aves. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Rio de Janeiro: ABEPRO, 2008.
- ALTHAUS, H; et al. **Ecoinvent: overview and methodology.** Data v 2.0. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007. 68 p.
- ALVARENGA, R.A.F. **Avaliação de métodos de AICV: Um estudo de caso de quarto cenários de ração para frangos.** Dissertação – Universidade Federal de Santa Catarina. 158p. Florianópolis, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).** NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Brasil: ABNT, 2009a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).** NBR ISO 14044: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de vida – Requisitos e orientações. Brasil: ABNT, 2009b.
- BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial,** conceitos, modelos e instrumentos. Editora: Saraiva, 2011.
- BARBOSA, A. B. & DA SILVA, R. R. **Química Nova na Escola.** 2:3-6, 1995.
- BASTOS, A.L.A.; POSSAMAI, O. Modelo de apoio à decisão para fabricação baseado na avaliação da performance ambiental de produtos e dos objetivos estratégicos da organização. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Curitiba: ABEPRO, 2002.

---

<sup>1</sup> Utilizado sistema autor-data

- BAUER, P. E.; MACIEL FILHO, R. **Incorporation of Environmental Impact Criteria in The Design and Operation of Chemical Processes**. Brazilian Journal of Chemical Engineering, v. 21, n. 3, p. 405-414, 2004.
- BENJAMIN, A.K. Desenvolvimento de modelo para avaliação de softwares de apoio à análise do ciclo de vida. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, USP, 2001.
- BONEZZI, C.B. **Competitividade ambiental da siderurgia brasileira: impactos das definições de fóruns internacionais**. 2005. Dissertação (Mestrado). Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- BORGES, F.J. **Inventário do Ciclo de Vida do PVC**. Dissertação – Escola Politécnica da USP. 173p. São Paulo, 2004.
- BOUSTEAD, I. **Life Cycle Assessment: An overview**. Energy World, 1995.
- BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.
- BRENTROP, F. et al. Application of the Life Cycle Assessment methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilizers. European Journal of Agronomy 14, 2001.
- BSI; CARBON TRUST; DEFRA. **Guide to PAS 2050:2008**: How to assess the carbon footprint of goods and services. Londres, Reino Unido, 2008a. 58p.
- \_\_\_\_\_. **PAS 2050:2008**: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. Londres, Reino Unido, 2008b. 43 p.
- CAPANEMA, L. X. L. et al. **Panorama da indústria de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos**. BNDES, Rio de Janeiro, n.25, p. 131-156, mar. 2007.
- CHEHEBE, J.R.B. **Análise do ciclo de vida de Produtos**. Ferramenta Gerencial da ISO 14000. Qualitymark Ed. Rio de Janeiro, 1998.
- CURRAN, M.A. **Environmental life-cycle assessment**. McGraw-Hill. New York, McGraw-Hill, 1996.
- DÜBENDORF, C.H. **Swiss Centre for Life Cycle Impact Assessment Methods**, 2010. Disponível em: <http://www.ecoinvent.org>. Acessado em 20/06/2012.
- EUROMONITOR. **Cosmetics and Toiletries**, 2010. Disponível em: <http://www.euromonitor.com>. Acessado em 15/01/2012.

- FARIA, H. M. **Uma discussão a respeito dos benefícios econômicos da gestão ambiental**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Escola Federal de Engenharia de Itajubá – MG
- FERREIRA, J.V.R. et al. **Análise do ciclo de vida dos Produtos**. Viseu: Instituto Politécnico. 77p, 2004.
- FERREIRA, G.L.B. & FRANK, B. **Avaliação do Ciclo de Vida: Uma aplicação prática para facilitar a escolha da melhor opção de projeto no desenvolvimento de novos produtos**. Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2000.
- FINKBEINER, M. **Carbon footprinting – opportunities and threats**. International Journal of Life Cycle Assessment, v.14, n.2, p91-94, 2009.
- FRISCHKNECHT R., JUNGBLUTH N., ALTHAUS H.-J., DOKA G., DONES R., HISCHE R., HELLWEG S., NEMECEK T., REBITZER G. AND SPIELMANN M. (2007) **Overview and Methodology**. Final report ecoinvent data v2.0, No. 1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- GALDIANO, G.P. **Inventário do Ciclo de Vida do papel offset produzido no Brasil**. Dissertação – Escola Politécnica da USP. 303p. São Paulo, 2006.
- GALEMBECK, F.; CSORDAS, Y. **Cosméticos: a química da beleza**, 2009.
- GIBSON, W. **A practical view of life-cycle assessment**. IMPLEMENTING ISO14000: a practical, comprehensive guide to the ISO14000 environmental management standards. Chicago: McGraw-Hill, 586p. 1997.
- GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L.D. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 2ª edição revista. Editora Edups. São Paulo, 2003.
- GOEDKOOOP, M.; OELE, M.; SCHRYVER, A.; VIEIRA, M. **SimaPro Database Manual: Methods Library**. Holanda: PRé Consultants, 2008.
- GOEDKOOOP, M.; OELE, M.; SCHRYVER, A.; VIEIRA, M. **SimaPro Database Manual: Methods Library**. Holanda: PRé Consultants, 2010.
- GOEDKOOOP, M.; SPRIENSMA, L. **Eco-indicator 99: manual for designers**. A damage oriented method for life cycle impact assessment. The Hague: Ministry of Housing Spatial Planning and the Environment, 1999. 49p.
- GOEDKOOOP, M. & SPRIENSMA, R. 2001. **The Eco-indicator 99 – A damage oriented method for life cycle impact assessment**. Methodology report. Third edition 22.6.2001. Amersfoort, The Netherlands, PRé Consultants B.V.

- GRAF, R. & FIGUEIREDO, P.J.M. **Uma aplicação da avaliação de ciclo de vida do produto no setor agrícola** - comparação da produção de alface com as técnicas intensiva, hidropônica e orgânica. Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 1999.
- GUINÉE, J.B. **Life cycle assessment: past, present and future**. Environmental Science Technology, 2011, 45, 90-96.
- GUY, E.B. Handbook of Detergents Part A: **Properties (Surfactant Science Series)**. CRC; 1 edition, 1999.
- HANSEN, A. P.; SEO, E. S. M.; KULAY, L. A. Identificação de oportunidades de melhoria de desempenho ambiental em processo de produção de materiais cerâmicos via aplicação da técnica de avaliação de ciclo de vida (ACV). Revista Produção On Line, v. 10, n. 4, 2010.
- HUIJBREGTS, M.A.J. et al. **Evaluating uncertainty in environmental life-cycle assessment**. A case study comparison two insulation options for a Dutch one-family dwelling. Environmental Science & Technology, Easton, v.37, p.2600-2608, 2003.
- \_\_\_\_\_. IBICT. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. **Inventário do ciclo de vida para competitividade ambiental da indústria brasileira**. Brasília, 2005.
- \_\_\_\_\_. ILCD: **International Reference Life Cycle Data System Handbook**. European Commission. Joint Research Centre, 2010. Institute for Environment and Sustainability. Disponível em:  
<http://lct.jrc.ec.europa.eu/pdf-directory/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAIL-online-12March2010.pdf>.
- HUMBERT, S.; MARGNI, M.; JOLLIET, O. **IMPACT 2002+ method: UserGuide for IMPACT 2002+ version 2.1**. Lausanne: École Polytechnique Fédérale Lausanne, 2005. 36 p. Disponível em: <http://www.epfl.ch/impact>. Acesso em: 20 de outubro de 2011.
- HUMBERT S, ROSSI V, MARGNI M, JOLLIET O, LOERINCIK Y (2009). **Life cycle assessment of two baby food packaging alternatives: glass jars vs. plastic pots** International Journal of Life Cycle Assessment, 14, 95-106.

- JESWIET, J. (2003). **A Definition for life cycle engineering**. In: INTERNACIONAL SEMINAR ON MANUFACTURING SYSTEMS, 36., 2003, Saarbrucken. Plenary Speech; p.17–20.
- JOHN, V. M.; OLIVEIRA, D. P.; AGOPYAN, V. (2006). **Cr terios de sustentabilidade para a sele o de materiais e componentes – uma perspectiva de pa ses em desenvolvimento**. Departamento de Engenharia Civil, Escola Pol cnica, Universidade de S o Paulo. Dispon vel em: [http://pcc2540.pcc.usp.br/Material%202006/VMJOHN\\_AGOPYAN\\_OLIVEIRA\\_05\\_v4\\_TRADU\\_O.pdf](http://pcc2540.pcc.usp.br/Material%202006/VMJOHN_AGOPYAN_OLIVEIRA_05_v4_TRADU_O.pdf). Acesso em: 15 de novembro de 2011.
- JOHNSON, E. **Disagreement over carbon footprints: A comparison of electric and LPG forklifts**. Energy Policy, v.36, n.4, p.1569-1573. 2008.
- JOLLIET, O.; MARGNI, M.; CHARLES, R.; HUMBERT, S.; PAYET, J.; REBITZER, G.; ROSENBAUM, R.; IMPACT 2002+: **A new life cycle assessment methodology**. The International Journal of Life Cycle Assessment, Landsberg, v.8, n.6, p.334-330, 2003.
- KONING, A. et al. **Uncertainties in a carbon footprint model for detergents: quantifying the confidence in a comparative result**. International Journal Life Cycle Assessment 15:79-89, 2010.
- KULAY, A. L. et al. Identifica o de oportunidades de melhoria de desempenho ambiental em processo de produ o de materiais cer micos via aplica o da t cnica de avalia o de ciclo de vida (ACV). Revista Produ o Online, v.10, n.4, 2010.
- KUMARAN, D. S. et al. **Environmental Life Cycle Cost Analysis of Products**. Environmental Management and Health. EUA: MCB University Press, v.12, n.3, 2001.
- \_\_\_\_\_. LEI n  6.938/81. **Pol tica Nacional do Meio Ambiente**. Dispon vel em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm). Acessado: 20/10/2012.
- LIMA, A. M. F. **Avalia o do Ciclo de Vida no Brasil: Inser o e Perspectivas**. Disserta o. Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo. Universidade Federal da Bahia. Escola Pol cnica, 2007.
- MARQUES, J. Anais Brasileiros de Dermatologia, 2010.
- MASSON, F. **A quarta gera o de cosm ticos**. Cosmetics & Toiletries. Vol.15, 2003.

- MERCADANTE, R. et al. **Sabonetes líquidos**: fabricando sabonetes líquidos. (Apostila). UNIOESTE. Cascavel, 2009.
- MEINDERS, H. e MEUFFELS, M. **Product Chain Responsibility – An Industry Perspective**, Corporate Environmental Strategy. Vol. 8, N.5, 348-354, 2001.
- MESTRINER, F. **Design de embalagem**. São Paulo: Makron Books, 2008.
- MORAIS, I.B.S.; ANGELIS, L.H. **Biotensoativos**: uma alternative mais limpa para as indústrias de cosméticos, 2012.
- MORETTI, T.V. **Método de avaliação da estrutura de inventários de ciclo de vida**: análise para casos brasileiros, 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- MOTTA, E.F.R.O. Fabricação de produtos de higiene pessoal. Dossiê Técnico. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, 2007.
- MOURAD, Anna L.; GARCIA, Eloísa E.C.; VILHENA, André. **Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e aplicações**. Campinas: CETEA/CEMPRE. 2002. 92 p.
- OLIVEIRA, C.H.C et al. Surfactantes derivados do fruto de coco e sensibilidade cutânea. 2003.
- OMETTO, A. R. **Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, Exergia e Emergia**. São Carlos. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.
- PASSUELLO, A.C.B. Aplicação da Avaliação de Ciclo de Vida em Embalagens Descartáveis para Frutas: Estudo de Caso. Dissertação – Universidade Federal do Rio Grande do sul. 147p, Porto Alegre, 2007.
- REBITZER, G. et al. Life cycle assessment - Part 1: **Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications**. Environment International, v.30, n.5, p.701-720. 2004.
- RELATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE  
\_\_\_\_\_. TETRAPACK, 2010/2011. Disponível em:  
[http://www.tetrapak.com/br/SiteCollectionDocuments/Tetra%20Pak\\_Relatório%20de%20Sustentabilidade%202010%202011.pdf](http://www.tetrapak.com/br/SiteCollectionDocuments/Tetra%20Pak_Relatório%20de%20Sustentabilidade%202010%202011.pdf). Acessado em 15 de julho de 2012.
- \_\_\_\_\_. SUZANO, 2009. Disponível em:  
[http://www.suzano.com.br/portal/sites/relatorio\\_sustentabilidade\\_swf/default.htm](http://www.suzano.com.br/portal/sites/relatorio_sustentabilidade_swf/default.htm).  
Acessado em 15 de julho de 2012.



- \_\_\_\_\_. NATURA, 2010. Disponível em:  
[http://scf.natura.net/relatorios/2010/PDF/PORT\\_PDF\\_NAVEGAVEL.pdf](http://scf.natura.net/relatorios/2010/PDF/PORT_PDF_NAVEGAVEL.pdf). Acessado em 15 de julho de 2012.
- RIBEIRO, F.M. Inventário de ciclo de vida da geração hidrelétrica no Brasil - Usina de Itaipu: primeira aproximação. Dissertação. São Paulo: USP, 2003. 243p.
- RIBEIRO, P. H. (2009). **Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados**. 343f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- RIOS, C. Brasil será o segundo maior mercado de cosméticos. Gazeta do povo: Economia. Abril, 2010.
- RITTNER, H. Sabão: Tecnologia e utilização. São Paulo, 1995.
- RODRIGUES, C. R. B. et al. (2008). **Sistemas computacionais de apoio a ferramenta análise de ciclo de vida do produto (ACV)**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18., 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: [s.n.].
- RODRIGUES, C.R.B. et al. **Sistemas computacionais de apoio a ferramenta Análise de Ciclo de Vida de produtos (ACV)**. In XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, 2008
- SILVA, J.A. **Direito Ambiental Constitucional**. Ed. 4°. São Paulo: Editora Malheiros Editores LTDA, 2002.
- SILVA, J.G. **Análise do ciclo de vida de tijolos prensados de escória de alto forno**. Tese (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, Vitória, 2005.
- SILVA, G.A. et al. **Desenvolvimento de banco de dados brasileiro para avaliação de ciclo de vida**. In: GLOBAL CONFERENCE: BUILDING A SUSTAINABLE WORLD, 2002, São Paulo. Anais. São Paulo: Global Conference: Building a Sustainable World, 5p, 2002.
- SILVA, P.R.S. **Avaliação de Impactos e Custos Ambientais em Processos Industriais: uma abordagem metodológica**. 220p. Dissertação. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Programa de Engenharia de Produção e Transportes, 2003.

- SONNEMAN, G. **Environmental Damage Estimations in Industrial Process Chains**: methodology development with case study on waste incineration and special focus on human health. Tese (doutorado) – Universitat Rovira Virgili, Espanha. 2002.
- SONNEMANN, G. (project officer). JENSEN, Allan Astrup; REMMEN, Arne. **Background report for a UNEP guide to Life Cycle Management** – A bridge to sustainable products. 108 p. 2005.
- SOUSA, S.A.V. **Vinhaça: o avanço das tecnologias de uso**. In: A energia da cana-de-açúcar. Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. Organizador: Macedo, I.C. São Paulo, 2005.
- STAUDT, D.; RIEGEL, I.C.; DAROIT, D. **Identificação de aspectos ambientais relacionados à produção de embalagens de perfumaria** – contribuição para projetos sustentáveis. 2008.
- STEEN, B. **Environmental costs and benefits in life cycle costing**. Management of Environmental Quality: An International Journal. Inglaterra: Emerald Publishing, v.16, n.2, p.107-118, 2005.
- SPITZ, L. **Bar Soap Finishing Lines and Equipment**. Soaps and Detergents technology today an AOCS Conference and Exhibit, Florida, 2004.
- TAKAHASHI, S. **Avaliação ambiental do setor de transporte de cargas: comparação de métodos**, 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- TILLMAN, A.M.; BAUMANN, H. **General description of life cycle assessment methodology**. Chalmers: University of Technology, 1994. (Technical Environmental Planning. Report 1995:5).
- TUKKER, Arnold. **Life Cycle Assessment as a Tool in Environmental Impact Assessment**. (QYLURQPHQWDO, PSDFW, VVHVVPHQW, HYLHZ, Elsevier Science Inc, v. 20, 2000. p. 435 – 456
- TWEDE, D.; GODDAR, R. **Materiais para embalagens**. São Paulo: Blucher, 2008.
- UDO DE HAES, H. A.; et al. **Life-Cycle Impact Assessment: striving towards best practice**. USA: SETAC, 2002. 272p.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. (1996). **Life cycle assessment: what it is and how to do it**. Paris: United Nations Publication.

- \_\_\_\_\_. (1999). Towards the global use of life cycle assessment. Paris: United Nations.
- \_\_\_\_\_. (2003). Evaluation of Environmental Impacts in LCA, Paris: United Nations.
- \_\_\_\_\_. (2009). **Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products**. Social and socio-economic LCA guidelines complementing environmental LCA and Life cycle Costing, contributing to the full assessment of goods and services within the context of sustainable development. Paris: United Nations.
- \_\_\_\_\_. USEPA – United States Environmental Protection Agency – Office Of Enforcement and Compliance Assurance. EPA Office of Compliance Sector Notebook Project: Profile of the pulp and paper industry: 2nd edition, Washington, 2002.
- VALLE, C.E. **Como se Preparar Para as Normas ISO 14000 – Qualidade Ambiental: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente**. São Paulo: Pioneira Administração e Negócios & ABIMAQ/SINDIMAQ, 1996.
- VERANI, C. N.; GONÇALVES, D. R.; NASCIMENTO, M. G. **Sabões e detergentes como tema organizador de Aprendizagens no Ensino Médio**. Química Nova na Escola, [S.l.], n.12, p.15-19, 2000.
- VENTURA, R. **Mudanças no perfil de consumo no Brasil: principais tendências nos próximos 20 anos**. Rio de Janeiro: Macroplan – Prospectiva, Estratégia & Gestão, 2009.
- VIANNA, F. C. **Análise de ecoeficiência: avaliação do desempenho econômicoambiental do biodiesel e petrodiesel**. 2006. 182p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 212p.
- YOKOTE, A.Y. **Inventário de Ciclo de vida da distribuição de energia elétrica no Brasil**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2003.
- WEIDEMA B P, BAUER C, HISCHIER R, MUTEL C, NEMECEK T, VADENBO C O, WERNET G. (2011). **Overview and methodology**. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. Ecoinvent Report 1(v3). St. Gallen: The ecoinvent Centre.

WEIDEMA, B. P.; THRANE, M.; CHRISTENSEN, P.; SCHMIDT, J.; LOKKE, S. **Carbon Footprint: A Catalyst for Life Cycle Assessment?** Journal of Industrial Ecology, v.12, n.1, p.3-6. 2008.

WILLERS, C.D.; RODRIGUES, L.B.; SILVA, C.A. **Avaliação do ciclo de vida no Brasil:** uma investigação nas principais bases científicas nacionais. UESB, Itapetinga, 2011.

## 9 Apêndice A

Neste item, buscou-se detalhar o modelo de questionário padrão utilizado nas indústrias para a coleta de dados.

A Figura 3.5 ilustrou de forma mais visual como foi realizada a etapa de coleta de dados e, para cada item da figura, tem-se o seguinte detalhamento:

- Processo: importante esse item como título da ficha utilizada durante a conversa com o fornecedor;
- Data: essa data está relacionada com o período que os dados foram coletados, se durante um ano, um mês etc. Buscou-se, sempre que possível, o período de um ano para a coleta dos dados;
- Entrada das matérias-primas: item imprescindível na coleta de dados, pois ele mostra claramente quais foram as entradas de outras matérias-primas para a produção de uma terceira;
- Saídas: muito importante relatar quais são as saídas de um sistema, principalmente quando há a produção de mais de um produto ou perdas significativas de processo;
- Entrada de energia/ Fontes energéticas: muito importante essa etapa pois relata exatamente qual o consumo energético para a produção de determinado produto, etapa etc;
- Transporte, distância, carga: essa etapa detalha exatamente quais as etapas de transporte que uma matéria-prima passa até chegar ao local que será consumida. Na maioria dos casos, as matérias-primas utilizam mais de um transporte até o seu destino final e, quando há a entrada de muitas outras matérias-primas para a produção de uma terceira, o detalhamento correto das suas etapas de transporte é essencial para o cálculo correto do seu impacto ambiental final;
- Entrada dos Dados ambientais, como Emissões Atmosféricas, Efluentes Líquidos e Resíduos Sólidos: muitas vezes as indústrias entrevistadas não passaram essa informação, não sendo de fácil acesso por eles. Quando isso aconteceu, dados estimados de literatura e/ou banco de dados foram utilizados para essa entrada.