

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA EM EMBALAGENS
DESCARTÁVEIS PARA FRUTAS: ESTUDO DE CASO**

ANA CAROLINA BADALOTTI PASSUELLO

Porto Alegre, setembro de 2007.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA EM EMBALAGENS
DESCARTÁVEIS PARA FRUTAS: ESTUDO DE CASO**

ANA CAROLINA BADALOTTI PASSUELLO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Luiz Fernando Cybis

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Lademir Luiz Beal

Depto. de Engenharia Química/UCS

Prof. Dr. Miguel Sattler

PPGEC/UFRGS

Prof. Dr. Dieter Wartchow

IPH/UFRGS

Porto Alegre, setembro de 2007.

Passuello, Ana Carolina Badalotti

Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida em Embalagens Descartáveis para Frutas: Estudo de Caso/ Ana Carolina Badalotti Passuello. – 2007.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre, BR-RS, 2007.

Orientação: Prof. Luiz Fernando Cybis

1. Gestão Ambiental. 2. ISO 14000. 3. Avaliação do Ciclo de Vida. I. Cybis, Luiz Fernando, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e amigo, Prof. Cybis, por me transmitir a paixão pelo mundo acadêmico; além de todos os conhecimentos essenciais ao desenvolvimento de um trabalho de mestrado.

Às empresas que colaboraram para o entendimento dos processos envolvidos neste trabalho e gentilmente cederam seus dados. Aos colegas da Trombini Industrial, em especial ao Eng. Cristiano Weber, Shayenny, Jason, Julmir e Éder, da unidade de Farroupilha; Rosângela, Neoli, Wilson e Alceu, da unidade Fraiburgo. Aos proprietários da B&N embalagens em madeira, Alexandre e Osmar. Ao Sr José Fracaro, da Araupel S/A, indispensável em esclarecimentos relacionados à extração e corte da madeira. Ao Leandro, da empresa Bela Fruta Girelli, por esclarecer a logística do uso das embalagens.

À Vice-Direção do IPH, especialmente ao Prof. Luiz Emílio e do Sr. Alcides. Às bibliotecárias deste instituto, Jussara e Sandra, pelo auxílio na normalização e revisão da bibliografia deste documento. Às secretárias do PPGIPH, Nadyr e Márcia, pelo apoio incondicional em diversos momentos deste trabalho.

Ao CNPq, por conceder-me bolsa de mestrado.

Ao grupo de pesquisa em avaliação do ciclo de vida da UFSC, pela disponibilização de ferramentas de ACV para teste e pelas experiências compartilhadas.

Aos colegas do IPH pelo auxílio ao longo do desenvolvimento deste trabalho, em especial Rogério, Diego, Mônica, Simone e Márcio. Mais do que conhecimento, compartilhamos vivências e expectativas.

A todas as minhas amigas, próximas ou distantes, pelo constante apoio e por compartilharem das minhas dificuldades e expectativas ao longo destes dois anos. À Dani, Ana Paula, Carô, Angélica e Carine, pela companhia de todas as horas. À minha guia Chandra, por me ensinar a enfrentar os desafios de forma tão suave. À Gabi, Sabrina, Vanessa, Ana Aimé e Verô, que, mesmo distantes, se fizeram sempre presentes. À Manu,

Tati, Ju e Rute que, além de tudo, dispuseram de condições para estadia em momentos essenciais do trabalho.

A todos os meus familiares, pelo incentivo, paciência e pelas horas de convívio subtraídas.

Finalmente, ao Maiquel, meu incentivador diário e minha maior fonte de inspiração.

*“... E aquilo que nesse momento se revelará aos povos
Surpreenderá a todos, não por ser exótico
Mas pelo fato de poder ter sempre estado oculto
Quando terá sido o óbvio.”*

Caetano Veloso - Um Índio

RESUMO

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma ferramenta que avalia os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo do ciclo de vida de um produto, desde a aquisição de matérias-primas, passando por produção, uso e disposição. Suas características possibilitam a aplicação da ferramenta na comparação de produtos. Um setor que costuma ser alvo deste tipo de análise é o de embalagens, por possuir o período de uso muito curto e não necessariamente ligado ao produto embalado. Neste trabalho, a metodologia de avaliação do ciclo de vida (ACV) é aplicada à indústria de embalagens descartáveis para frutas, com a finalidade de comparar o desempenho ambiental de caixas de madeira e de papelão ondulado (PO).

A metodologia para realização da ACV utilizada está de acordo com o descrito na família de normas ISO 14040, sendo dividida em quatro etapas: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação dos resultados. O cenário-base da avaliação considera a produção energética segundo a matriz dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, e disposição de resíduos sólidos em aterro controlado. Na avaliação de impacto, foi realizada a análise no nível de caracterização e dano normalizado.

Os resultados obtidos, no nível de caracterização, demonstram que as embalagens em madeira são mais interessantes ambientalmente do que as em PO, para a maioria das categorias de impacto avaliadas. Para as categorias relacionadas à saúde humana, os escores das embalagens em madeira são 75% menores para carcinogênicos e não-carcinogênicos. Os escores do cenário PO foram melhores para as categorias de radiação ionizante, depleção do ozônio estratosférico e oxidação fotoquímica, sendo entre 62% e 74% menores que os do cenário madeira. Para mudanças climáticas, o ciclo de vida PO possui valor de impacto 25% maior que o madeira. Já para as categorias relacionadas à qualidade do ecossistema, o valor obtido para o ciclo de vida madeira é 95% menor para eutrofização e 70% menor para ecotoxicidade dos corpos d'água. Os resultados obtidos na caracterização conduziram à avaliação no nível de dano normalizado.

Na avaliação de dano normalizado, foi demonstrado que a maior vantagem do ciclo de vida PO é a baixa utilização de recursos minerais e energéticos. Para as demais categorias de dano – mudanças climáticas, saúde humana e qualidade do ecossistema – o ciclo de vida da madeira demonstrou melhor comportamento que o do PO.

A discussão dos resultados evidencia que os processos que mais contribuem para os impactos, nos dois ciclos de vida analisados, estão relacionados à extração da madeira, produção de energia e disposição dos resíduos sólidos. Para o cenário PO, cabe destacar ainda a produção de celulose pelo processo Kraft. A avaliação de cenários permite inferir que a matriz energética e a disposição final de resíduos sólidos teve influência direta nos resultados da ACV.

A partir dos resultados obtidos, constata-se que a embalagem em madeira possui comportamento ambiental melhor que a em PO para o cenário-base avaliado.

Palavras-chave: Avaliação do ciclo de vida. Gestão ambiental. Embalagens para frutas. Madeira. Papelão ondulado.

ABSTRACT

Life Cycle Assessment (LCA) is a tool which evaluates the environment aspects and the potential impacts through a product life cycle, from the acquisition of raw materials to production, use and final disposition. Theirs features enable the use of this tool application on the products comparison. One industry that is the target of this kind of analysis is packaging, for it has a very short time of usage and not necessarily linked to the packaged product. In this work, the Life Cycle Assessment (LCA) methodology is applied to the fruit disposable packages industry, aiming at comparing wood and corrugated cardboard boxes environmental performances.

The methodology used to apply the LCA is in accordance with what is indicated on the ISO Standards 14040, and it is divided in four stages: goal and scope definition, life cycle inventory analysis, life cycle impact assessment and interpretation. The assessment baseline scenario takes into consideration the energetic production according to the Rio Grande do Sul energy matrix and the landfill solid wastes disposition. In the impact assessment, an analysis was made on the level of characterization and normalized damage.

The results obtained at the characterization level show that the wood packages are more environmentally interesting than those in corrugated cardboard to most of the impact categories assessed. In relation to the categories related to human health, the wood packages scores are 75% lower to carcinogenics and non-carcinogenics. The corrugated cardboard scenario scores are better to the ionizing radiation, stratospheric ozone depletion and photochemical oxidation categories, being among 62% and 74% lower than those of the wood scenario. For climate changes, the corrugated cardboard life cycle has an impact value 25% higher than the wood one. For the categories related to ecosystem quality, the value obtained for the wood life cycle is 95% lower for eutrophication and 70% lower for water bodies' ecotoxicity. The characterization results conducted to the normalized damage assessment.

For normalization at damage level, it was demonstrated that the major advantage of the corrugated cardboard life cycle is its low utilization of energy and mineral resources. For the other damage categories – climate change, human health and ecosystem quality – the wood life cycle showed better performance than corrugated cardboard life cycle.

The results discussion demonstrates that the processes that contribute most to the impacts, in both life cycles analyzed, are related to wood extraction, energy production and solid wastes disposition. For the corrugated cardboard scenario, it is also interesting to call attention to the cellulose production by the Kraft process. Scenario evaluation demonstrates that the energetic production matrix and the final solid waste disposition have a direct influence on LCA results.

Based on the results obtained, it is possible to conclude that the wood package has a better environmental performance than the one in corrugated cardboard in the baseline scenario assessed.

Keywords: Life Cycle Assessment, Environmental management, Fruit packages, Wood, Corrugated board.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
SUMÁRIO	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xii
FÓRMULAS, SÍMBOLOS E SIGLAS UTILIZADAS	xv
1 INTRODUÇÃO:	1
2 OBJETIVOS	4
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 INTRODUÇÃO	5
3.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	5
3.2.1 <i>Conceitos e Definições</i>	6
3.2.2 <i>Metodologia</i>	8
3.2.2.1. <i>Definição dos objetivos e escopo</i>	8
3.2.2.1.1. <i>Definição da unidade funcional</i>	10
3.2.2.1.2. <i>Definição do sistema de produto</i>	11
3.2.2.1.3. <i>Definição da qualidade dos dados</i>	12
3.2.2.1.4. <i>Definição dos procedimentos de alocação</i>	13
3.2.2.2. <i>Análise de inventário</i>	15
3.2.2.2.1. <i>Preparação, coleta e validação dos dados</i>	16
3.2.2.2.2. <i>Agregação dos dados</i>	17
3.2.2.2.3. <i>Checagem da qualidade dos dados</i>	17
3.2.2.3. <i>Análise de impacto</i>	17
3.2.2.3.1. <i>Escolha das categorias de impacto</i>	19
3.2.2.3.2. <i>Cálculo dos indicadores das categorias de impacto</i>	21
3.2.2.3.3. <i>Determinação dos elementos opcionais</i>	22
3.2.2.3.4. <i>Metodologias de AICV</i>	24
3.2.2.4. <i>Interpretação dos resultados</i>	30
3.2.3 <i>Análises de sensibilidade e incerteza</i>	31
3.2.4 <i>Recursos computacionais</i>	34
3.3 EMBALAGENS PARA O ACONDICIONAMENTO E TRANSPORTE E DE FRUTAS	36
3.3.1 <i>Embalagens em madeira</i>	36
3.3.2 <i>Embalagens em papelão ondulado</i>	37

3.3.3	<i>Indústrias de Embalagens</i>	39
3.3.3.1.	<i>Fabricação de Embalagens em Madeira</i>	39
3.3.3.2.	<i>Fabricação de Embalagens em Papelão Ondulado</i>	40
3.4	USO DA ACV PARA EMBALAGENS EM MADEIRA E PO	42
4	ESTUDO DE CASO	45
4.1	DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO	45
4.1.1	<i>Definição da unidade funcional</i>	46
4.1.2	<i>Definição do sistema de produto</i>	47
4.1.3	<i>Definição da qualidade dos dados</i>	49
4.1.3.1.	<i>Dados Primários</i>	49
4.1.3.2.	<i>Dados secundários</i>	49
4.1.4	<i>Definição do cenário-base</i>	50
4.2	INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA	51
4.2.1	<i>Preparação, coleta e validação dos dados</i>	51
4.2.1.1.	<i>Produção de refilo e madeira para celulose:</i>	51
4.2.1.2.	<i>Produção de Grampos Metálicos</i>	55
4.2.1.3.	<i>Fabricação da Caixa de Madeira</i>	55
4.2.1.4.	<i>Produção integrada de polpa e papel</i>	57
4.2.1.5.	<i>Produção de papel reciclado</i>	59
4.2.1.6.	<i>Concepção da caixa em papelão ondulado</i>	60
4.2.1.7.	<i>Produção de outros insumos</i>	63
4.2.1.8.	<i>Transporte Rodoviário</i>	63
4.2.1.9.	<i>Produção de energia elétrica</i>	64
4.2.1.10.	<i>Disposição em aterro</i>	64
4.2.2	<i>Agregação dos dados</i>	64
4.2.3	<i>Checagem da qualidade dos dados</i>	71
4.3	ANÁLISE DE IMPACTO.....	72
4.3.1	<i>Cálculo dos indicadores das categorias de impacto</i>	72
4.3.2	<i>Determinação dos elementos opcionais</i>	78
4.4	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DA ACV	82
4.4.1	<i>Identificação dos itens mais significativos:</i>	82
4.4.2	<i>Checagens de integridade, sensibilidade e consistência</i>	87
4.4.3	<i>Conclusões da ACV</i>	94
5	CONCLUSÕES	95
6	RECOMENDAÇÕES	97
7	APÊNDICES	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Pesos utilizados na diferentes estruturas de EI 99.	26
Tabela 3.2 Categorias de caracterização e dano e suas unidades (IMPACT 2002+).	27
Tabela 4.1: Origem dos dados de ICV. Dados primários em azul e secundários em amarelo.	50
Tabela 4.2 Massa de herbicida e formicida aplicados ao solo. Unidade: kg por hectare.	52
Tabela 4.3 Volume de madeira produzido e retirado em cada uma das podas.	53
Tabela 4.4 Valores de alocação para o processo de extração da madeira. Valores relativos a 1 tonelada de madeira extraída.	53
Tabela 4.5 Valores de alocação para o processo de corte da madeira. Valores relativos a 1 tonelada de madeira extraída.	54
Tabela 4.6 Insumos que representam mais que 1% em massa para a fabricação de 1 tonelada de celulose.	58
Tabela 4.7 Insumos que representam mais que 1% em massa para a fabricação de 1 tonelada de papel Kraft.	59
Tabela 4.8 Insumos que representam mais de 1% em massa na fabricação de 1 tonelada de chapa de PO parede dupla.	61
Tabela 4.9 Insumos que representam mais de 1% em massa na fabricação de uma tonelada de cola.	61
Tabela 4.10 Fluxos de entrada e saída da etapa de impressão, corte e vinco.	61
Tabela 4.11 Distâncias percorridas entre as unidades de processo.	64
Tabela 4.12 Dados de entrada do ICV. Valores em kg.	69
Tabela 4.13 Dados de saída do ICV. Valores em kg.	70
Tabela 4.14 Análise de incerteza para os dois cenários. Unidade: kg.	71
Tabela 4.15 Escores de caracterização pela metodologia IMPACT 2002+.	73
Tabela 4.16 Entradas e saídas de CO2 do ciclo de vida.	75
Tabela 4.17 Resultados de dano normalizado. Unidade: pessoa.ano.	78
Tabela 4.18 Escores de dano utilizados na composição do diagrama triangular. Valores em pessoa.ano.	81
Tabela 4.19 Contribuição das unidades de processo nas categorias de caracterização para o cenário madeira. Valores em percentual.	85
Tabela 4.20 Contribuição das unidades de processo nas categorias de caracterização para o cenário PO. Valores em percentual.	86

Tabela 4.21 Contribuição dos compartimentos ar, água e solo nos escores de caracterização. Valores em percentual.	87
Tabela 4.22 Contribuições dos fluxos nas categorias de impacto.	89
Tabela 4.23 Proporções de produção energética nas duas matrizes utilizadas.....	90
Tabela 4.24 Cenários de disposição final avaliados.....	92
Tabela 8.1 Compilação dos resultados do ICV para o cenário madeira:Entradas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg.....	106
Tabela 8.2 Compilação dos resultados do ICV para o cenário madeira:Saídas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg.....	109
Tabela 8.3 Compilação dos resultados do ICV para o cenário PO:Entradas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg.....	118
Tabela 8.4 Compilação dos resultados do ICV para o cenário PO:Saídas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg.....	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Exemplo de sistema de produto para ACV. Fonte: ISO 14040 (2006a).....	7
Figura 3.2 Fases da ACV. Fonte: NBR 14040 (2001).	9
Figura 3.3 Passos para a definição da unidade funcional.....	10
Figura 3.4 Procedimento para simplificar o modelamento da ACV. Baseado em: de Beaufort- Langeveld et al. (1997, apud Rebitzer, 2005, p. 12)	11
Figura 3.5 Ilustração de um processo multifuncional teórico. Fonte: Ekvall e Finnveden (2001).	14
Figura 3.6 Exemplo de expansão. Baseado em Ekvall e Finnveden (2001).	15
Figura 3.7 Procedimento simplificado para análise de inventário. Adaptado de ISO (2006b).16	
Figura 3.8: Elementos da fase de avaliação de impactos do ciclo de vida. Fonte: ISO, 2006a.	18
Figura 3.9 Elementos mandatórios fase de análise de impacto do ciclo de vida.	22
Figura 3.10 Exemplo de representação do diagrama triangular. Fonte: Doka, 2000.	30
Figura 3.11 Relações entre a interpretação e os demais elementos da ACV. Baseado em ISO (2006b).	31
Figura 3.12 Procedimento para quantificar incerteza em ICV. Fonte: Maurice et al, 2000.....	33
Figura 3.13 Embalagens para transporte a acondicionamento de hortícolas: caixa de madeira	37
Figura 3.14 Estrutura do PO parede simples.	38
Figura 3.15 Módulos paletizáveis em papelão ondulado. Fonte: ABPO, 2006b.	39
Figura 3.16 Exemplo de equipamento para a fabricação de papel. Fonte: FEFCO, 2003.	41
Figura 4.1 Caixas de madeira e papelão para armazenamento e transporte de frutas	46
Figura 4.2 Identificação e seleção das funções e da unidade funcional	47
Figura 4.3: Ciclo de vida da concepção de embalagens em madeira.	48
Figura 4.4: Ciclo de vida da concepção de embalagens em papelão ondulado.....	48
Figura 4.5 Muda pronta para ser plantada e estoque de mudas.	52
Figura 4.6: Cavaco e refilo estocados nas indústrias visitadas.....	54
Figura 4.7 Fluxograma da produção de madeira para polpa e refilo. Os números entre parêntesis indicam os valores de alocação por massa e valor econômico utilizados, considerando o volume total de madeira extraído. Unidade: kg de produto por tonelada de madeira extraída.	55

Figura 4.8 Refilo sendo serrado em 3 partes e posteriormente cortado nas dimensões da caixa.....	56
Figura 4.9 Grampeamento das peças.....	56
Figura 4.10 Fluxograma do processo de fabricação de caixas de madeira. Unidade: kg de produto por tonelada de caixa de madeira produzida.....	57
Figura 4.11 Fluxograma da planta integrada de fabricação de polpa e papel Kraft. Unidade: kg de produto por tonelada de papel Kraft produzido.....	59
Figura 4.12 Fluxograma do processo de fabricação de papel reciclado. Unidade: kg de produto por tonelada de papel reciclado produzido.....	60
Figura 4.13: Modelo da caixa em PO. Medidas em milímetros.....	62
Figura 4.14 Fluxograma da etapa de concepção da caixa em papelão ondulado.....	63
Figura 4.15 Representação do sistema de produto para o ciclo de vida madeira no software GaBi. Os fluxos mássicos estão representados em azul (insumos), verde (óleo diesel) e laranja (resíduos sólidos). Os fluxos energéticos (energia elétrica) estão representados em vermelho. Unidade: kg.....	65
Figura 4.16 Representação do sistema de produto para o ciclo de vida madeira no software GaBi. Os fluxos energéticos estão representados em vermelho (energia elétrica) e verde (óleo diesel). Os fluxos mássicos estão representados em azul (insumos) e laranja (resíduos sólidos). Unidade: MJ.....	66
Figura 4.17 Representação do sistema de produto para o ciclo de vida PO no software GaBi. Os fluxos mássicos estão representados em azul (insumos), verde (óleo diesel) e laranja (resíduos sólidos). Os fluxos energéticos (energia elétrica) estão representados em vermelho. Unidade: kg.....	67
Figura 4.18 Representação do sistema de produto para o ciclo de vida madeira no software GaBi. Os fluxos energéticos estão representados em vermelho (energia elétrica) e verde (óleo diesel). Os fluxos mássicos estão representados em azul (insumos) e laranja (resíduos sólidos). Unidade: MJ.....	68
Figura 4.19 Comparação dos cenários para as categorias de caracterização relacionadas a depleção dos recursos naturais.....	73
Figura 4.20 Comparação dos cenários para as categorias de caracterização relacionadas a danos à saúde humana.....	74
Figura 4.21 Comparação dos cenários para a categoria de mudanças climáticas.....	75
Figura 4.22 Comparação dos cenários para as categorias de caracterização relacionadas a danos à qualidade do ecossistema.....	76

Figura 4.23 Valor médio e intervalo de confiança ($\alpha=0,05$) para as categorias de efeitos respiratórios e oxidação fotoquímica.....	76
Figura 4.24 Valor médio e intervalo de confiança ($\alpha=0,05$) para a categoria mudanças climáticas.....	77
Figura 4.25 Valor médio e intervalo de confiança ($\alpha=0,05$) para as categorias acidificação nos corpos d'água e acidificação e nutrição no solo.....	77
Figura 4.26 Contribuição das categorias de caracterização para as categorias de dano aos recursos. Unidade: pessoa.ano.....	79
Figura 4.27 Contribuição das categorias de caracterização para as categorias de dano à qualidade do ecossistema. Unidade: pessoa.ano.	79
Figura 4.28 Contribuição das categorias de caracterização para as categoria de dano à saúde humana. Unidade: pessoa.ano.	80
Figura 4.29 Escores normalizados para cada categoria de dano. Unidade: pessoa.ano.	81
Figura 4.30 Diagrama triangular da ACV em estudo.....	82
Figura 4.31 Escores de dano normalizado para os diferentes cenários relacionados à matriz energética. Unidade: pessoa.ano.....	90
Figura 4.32 Resultados de caracterização para a categoria de acidificação dos corpos d'água, nas diferentes matrizes energéticas, para os dois cenários. Unidade: kg SO ₂ eq ar.....	91
Figura 4.33 Resultados de caracterização para a categoria de eutrofização dos corpos d'água, nas diferentes matrizes energéticas, para os dois cenários. Unidade: kg PO ₄ eq água.....	91
Figura 4.34 Escores de dano normalizado para os diferentes cenários de disposição final de resíduos sólidos.	92
Figura 4.35 Resultados de caracterização para a categoria de acidificação dos corpos d'água, para diferentes cenários de disposição final das embalagens. Unidade: kg SO ₂ eq ar.....	93
Figura 4.36 Resultados de caracterização para a categoria de eutrofização dos corpos d'água, para diferentes cenários de disposição final das embalagens. Unidade: kg PO ₄ eq água.....	93

SÍMBOLOS E SIGLAS UTILIZADAS

β_i : Taxa de transferência para ecotoxicidade aquática e terrestre

K_i : Coeficiente de absorção da substância i

ρ_s : Densidade do solo

ρ_w : Umidade do solo

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABPO: Associação Brasileira do Papelão Ondulado

ACV: Avaliação do Ciclo de Vida

AEP: Fator de Caracterização para ecotoxicidade aquática

AICV: Análise de Impacto de Ciclo de Vida

APAF: Fração de espécies por unidade de emissão potencialmente atingida

Bq: Bequerel

BS: British Standard

CFC-11: Tricloromonofluormetano

COD: Carbono Orgânico Dissolvido

COT: Carbono Orgânico Total

CV: Coeficiente de Variação

D: Severidade

DAER: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul

DALY: Disability Adjusted Life Years, Anos de Vida Ajustados por Incapacidade.

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

DR: Dose Resposta

DQO: Demanda Química de Oxigênio

ETEI: Estação de Tratamento de Efluentes Industriais

FC50: Fator de contaminação médio afetando 50% das espécies presentes no ecossistema

FEFCO: European Federation of Corrugated Board Manufacturers

$F_{i,m}.\theta_i$: Fator de perda para ecotoxicidade aquática e terrestre

HDF $_i$: Fator de Dano à saúde humana do componente emitido i

HTP $_i$: Fator de Caracterização para o componente emitido i

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICV: Inventário de Ciclo de Vida

iF: Fração absorvida pelos humanos

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

IPPC: Integrated Pollution Prevention and Control

ISO: International Organization for Standardization, Organização Internacional para a Padronização

NMVOC: Non Methane Volatile Organic Compounds, Compostos Orgânicos Voláteis que não o Metano.

NOx: Óxidos de Nitrogênio

PDF: Potentially Disappeared Fraction, Fração Potencialmente Desaparecida

PIB: Produto Interno Bruto

PM: Material Particulado

PO: Papelão Ondulado

RS: Rio Grande do Sul

SC: Santa Catarina

SDT: Sólidos Dissolvidos Totais

SGA: Sistema de Gestão Ambiental

SST: Sólidos Suspensos Totais

TEG: Trietilenoglicol

TR: Technical Report, Relatório Técnico.

UFTPR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná

UnB: Universidade de Brasília

1 INTRODUÇÃO:

A problemática ambiental, vislumbrada globalmente na atualidade, vem incentivando empresas e indivíduos a adotarem uma postura mais racional em relação às suas interações com o meio. Além disso, o desenvolvimento de políticas ambientais mais restritivas, nas últimas décadas, estimulou as indústrias a adaptarem-se a novas demandas.

Diversas corporações começaram a se preocupar com os impactos ambientais de suas atividades e o entendimento destes impactos. Para isso, muitas fizeram uso de auditorias ambientais e avaliações de impacto ambiental. Estas análises são focadas tipicamente em um local específico, como uma fábrica ou uma usina. Todavia, os processos industriais e suas atividades não funcionam isolados, mas sim ligados a fornecedores e clientes, outros processos e atividades. É dentro desta lógica que a avaliação do ciclo de vida (ACV) atua.

A avaliação do ciclo de vida é uma ferramenta de quantificação, que representa uma análise de produtos, processos e serviços. Esta avaliação pode ser feita “do berço ao túmulo”, reconhecendo todas as fases do ciclo de vida, desde a extração de matérias primas, transporte, manufatura, distribuição, uso/reuso e disposição final; seus impactos econômicos e ambientais.

A ACV pode ser utilizada na identificação de materiais, fontes de energia e substituição de processos para o aumento da eficiência e redução dos problemas de fim-de-tubo. O ato de aperfeiçoar as entradas de recursos faz sentido tanto em termos econômicos como ambientais.

Esta ferramenta também pode ser empregada na identificação de problemas ambientais globais e difusos, possibilitando a redução da poluição que acompanha o produto além dos limites da indústria; uma vez que não raro os impactos mais significativos encontram-se na fase de utilização dos mesmos.

É sabido que as embalagens são responsáveis por boa parte da carga ambiental de um produto, especialmente quando não são retornáveis. Isto porque a embalagem, enquanto produto, possui período de uso muito curto e que não está necessariamente ligado à mercadoria embalada. Além disso, a produção de embalagens envolve diversos subsistemas que colaboram de diferentes formas na carga ambiental do sistema de produto. Quando se considera um artigo que não é processado e, por isso, possui menor impacto ambiental associado, a embalagem passa a ser a principal contribuição deste ciclo de vida. Este é o caso das embalagens descartáveis para acondicionar e transportar frutas.

Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), o setor de frutas e hortaliças em nosso país possui uma produção estimada em 17 bilhões de reais anuais, respondendo a aproximadamente 2% do produto interno bruto (PIB) brasileiro em 1998. O transporte de frutas é uma das principais etapas do processo que vai da produção ao consumo desses alimentos. O uso de embalagens inadequadas contribui para a proliferação de fungos e bactérias que aceleram a deterioração dos hortifrutigranjeiros e diminuem sua vida de prateleira. A Instrução Normativa Conjunta nº. 9, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil, 2002), estabelece que as embalagens descartáveis devem ser recicláveis ou de incinerabilidade limpa. A fim de diminuir as perdas durante a fase de transporte destes alimentos, é sugerida a substituição da caixa em madeira pela de papelão ondulado para seu transporte, prática bastante difundida fora de nosso país.

A aplicação da ACV na gestão de embalagens descartáveis para frutas revela-se de grande potencial para a melhoria da eficiência ambiental no acondicionamento destes produtos, permitindo a identificação das etapas críticas do processo; avaliação dos efeitos ambientais associados à inserção do produto caixa de papelão ondulado no mercado e identificação da necessidade de pesquisa na área. Além disso, pode prover as bases para introduzir os princípios do sistema de normas ISO 14000 nas indústrias e identificar processos passíveis de alteração, com a finalidade de redução de impactos negativos na concepção do produto.

Do mesmo modo, a comparação da conduta ambiental de diferentes embalagens permite identificar a adequação das mesmas ao mercado de frutas, enfatizando o custo ambiental embutido ao longo do ciclo de vida das mesmas.

Este trabalho se propõe a desenvolver um estudo ambiental com o uso da ferramenta de avaliação de ciclo de vida para comparar o comportamento ambiental de caixas de madeira e papelão ondulado para o transporte de frutas. Um estudo de caso será desenvolvido para o aprofundamento no conhecimento da técnica ACV, avaliando o desempenho ambiental destes dois tipos de caixas.

Após esta introdução, o capítulo 2 aborda os objetivos da pesquisa de mestrado. No capítulo 3 foi desenvolvida uma revisão sobre a avaliação do ciclo de vida e seus aspectos relevantes para o desenvolvimento do trabalho, bem como uma revisão a respeito das embalagens utilizadas na análise. O capítulo 4 aborda o estudo de caso propriamente dito, descrevendo o desenvolvimento da ACV e seus resultados de inventário e impacto, bem como a discussão dos resultados obtidos. Finalmente, nos capítulos 5 e 6 são apresentadas as conclusões e recomendações deste trabalho de mestrado. Em anexo, são colocadas tabelas que

discriminam os resultados de inventário, permitindo a reprodutibilidade dos resultados obtidos neste trabalho.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é avaliar os aspectos ambientais e impactos potenciais associados ao ciclo de vida de embalagens de madeira e papelão ondulado utilizadas para o acondicionamento e transporte de frutas, através do emprego da avaliação do ciclo de vida (ACV).

Os objetivos podem ser explicitados mais especificamente da seguinte forma:

- Ampliar o banco de dados de inventário de ciclo de vida (ICV) da indústria nacional;
- Verificar a qualidade dos dados coletados;
- Avaliar o desempenho ambiental destas embalagens e apontar etapas críticas em seu ciclo de vida;
- Avaliar a influência do escopo definido nos resultados finais da ACV, considerando a matriz energética e a disposição final de resíduos sólidos;
- Verificar a adequação da ACV à realidade nacional.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Introdução

Esta revisão bibliográfica aborda inicialmente os aspectos relacionados à avaliação do ciclo de vida (ACV) considerados relevantes para o presente trabalho. Primeiramente são apresentados os conceitos e definições relativos à ACV. A seguir, é contemplada sua metodologia, de acordo com as quatro fases da ACV definidas na família de normas ISO 14040 (International Organization for Standardization - ISO, 2006a): definição do objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação dos resultados, suas peculiaridades e limitações. Uma seção é dedicada a metodologias de análises de sensibilidade e incerteza, que podem ser aplicadas em qualquer uma das quatro etapas da ACV. Finalmente, são abordados os recursos computacionais disponíveis para a execução da análise.

Depois disto, são tratados aspectos relacionados às embalagens e sua concepção. Nesta etapa, são feitas considerações relacionadas à fabricação das embalagens, uso de insumos e interações com o ambiente. Finalmente, são comentados aspectos específicos da ACV em estudo, julgados importantes para a realização do trabalho.

3.2 Avaliação do Ciclo de Vida

Para avaliar ambientalmente um produto, é necessário utilizar uma metodologia que aborde todas as fases do ciclo de vida do mesmo, e suas interações, que podem ocorrer no tempo e no espaço. A metodologia de avaliação do ciclo de vida (ACV) realiza um balanço de todas estas interações e seus impactos relacionados. É uma ferramenta que pode ser utilizada para analisar os efeitos ambientais de um produto, processo ou atividade (Curran, 1996). Apesar da normalização desta metodologia ser recente, sua aplicação é bastante consagrada.

De acordo com Curran (1996), a primeira tentativa de visualizar o sistema de produto expandido foi realizada no início dos anos 1960. Estes trabalhos, focados especialmente em cálculos de demanda energética, foram realizados pelo Departamento de Energia Americano e incluíam estimativas limitadas de emissões ao ambiente. Com a crise do petróleo, no início dos anos 1970, os governos americano e britânico patrocinaram muitos estudos relacionados a análises energéticas detalhadas. Findada a crise, o interesse no uso da ACV neste setor se reduziu.

Ainda nos anos 1970, surgem estudos sobre inventário de ciclo de vida (ICV): estudos de engenharia orientados que avaliam fluxos de material e energia em sistemas de

manufaturas. A ampliação gradativa do modelo ICV abrange a disposição de resíduos sólidos, emissões atmosféricas e de efluentes. Também neste período, muitos estudos relacionados ao ciclo de vida de embalagens foram conduzidos na Europa (Curran, 1996). Ao final dos anos 1980, uma variedade de modelos ICV se encontra em operação em todo o mundo. Neste período, a ferramenta é utilizada isoladamente em algumas companhias, como instrumento de gestão ambiental.

No início dos anos 1990, a ACV ganha ênfase na temática ambiental. Neste mesmo período, ocorre grande impulso com relação à consciência ambiental, com a publicação das normas BS 7750 e da série de normas ISO 14000, que vêm motivando as empresas a investir em melhorias ambientais, com a introdução de sistemas de gestão ambiental e maior cuidado nos processos de fabricação, produtos e rejeitos gerados, conduzindo à certificação ambiental.

Os princípios chave série de normas ISO 14000 incluem o encorajamento de planos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto e ênfase em ações preventivas ao invés de corretivas. A ACV provê as bases para a operação destes princípios, por ajudar a identificar os aspectos ambientais das atividades, produtos e serviços de uma organização.

A expansão do interesse nesta metodologia coincide com o crescente interesse em torná-la um instrumento de gestão ambiental. Inicialmente, os maiores interessados na metodologia eram gerentes industriais que buscavam comprovar que seus produtos seriam ambientalmente melhores que outros. A seguir, os consumidores começam a se interessar por produtos viáveis ambientalmente. Atualmente, a comparação ainda é o objetivo de muitos grupos, porém, o uso da ferramenta para melhorar o perfil ambiental de um produto é a maior motivação ao se conduzir uma ACV (Curran, 1996).

Aliado a isso, a expansão do consumo consciente e a utilização de selos verdes, baseados em ACV, torna a utilização desta ferramenta indispensável, especialmente quando é visada a exportação de produtos.

Existem diversas pesquisas e discussões orientadas à formulação de procedimentos para esta análise que permitirão tomadas de decisão válidas, baseadas na gestão de sistemas de produção. Porém, poucos destes estudos foram realizados em países da América Latina. Assim sendo, se fazem necessários estudos que relacionem a prática da ACV ao cenário local, de modo a torná-la um instrumento de gestão aplicável à realidade brasileira.

3.2.1 Conceitos e Definições

Ciclo de vida é a expressão usada para referir-se a todas as etapas e processos de um sistema de produtos ou serviços, englobando toda a cadeia de produção e consumo,

considerando aquisição de energia, matérias primas e produtos auxiliares; aspectos dos sistemas de transportes e logística; características da utilização, manuseio, embalagem, marketing e consumo; sobras e resíduos e sua respectiva reciclagem ou destino final.

De acordo com ABNT (1996), denominam-se os elementos que podem interagir com o meio ambiente como aspectos ambientais, e às modificações do meio ambiente que ocorrem como consequência destes, como impactos ambientais.

Desta forma, define-se a ACV (ABNT, 2001) como: uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante:

- A compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto;
- A avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas;
- A interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos do estudo.

Cabe dizer que por sistema de produto entende-se o conjunto de processos que realizam a função do produto (ABNT, 2001), ou seja, os processos que, segundo o modelo definido para o estudo, compõe o ciclo de vida do produto em questão. É uma associação de unidades de processo, que desenvolvem uma ou mais funções definidas, essencialmente caracterizada por sua função e não podendo ser definida somente em termos de seu produto final. Um exemplo de sistema de produto pode ser visualizado na Figura 3.1.

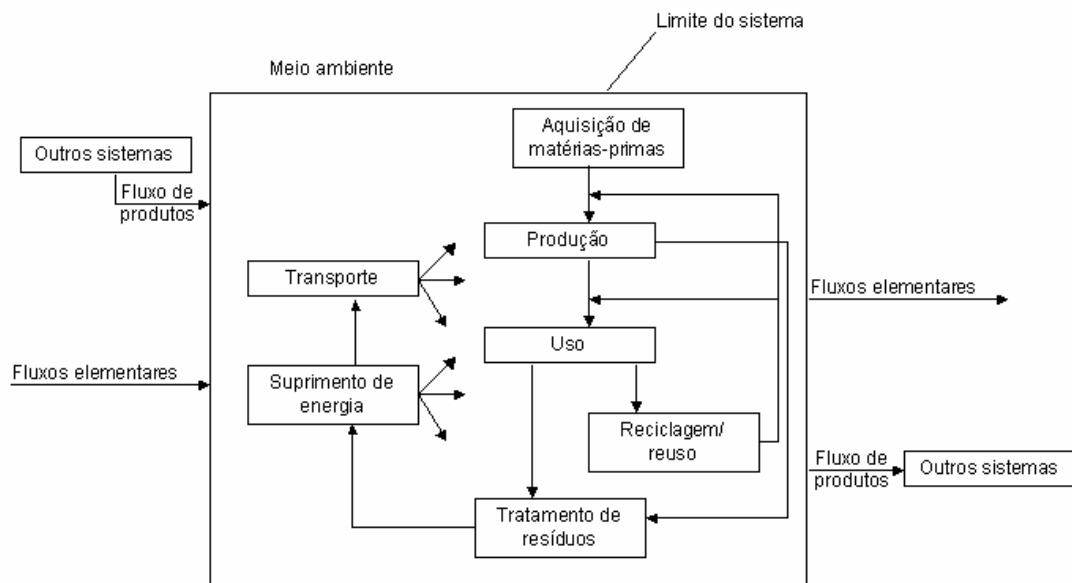


Figura 3.1 Exemplo de sistema de produto para ACV. Fonte: ISO 14040 (2006a).

Conforme se observa na Figura 3.1, os sistemas de produto podem ser divididos em uma seleção de unidades de processo, que são conectadas entre si por fluxos de produtos

intermediários, a outro sistema de produto por fluxos de produtos e ao ambiente por fluxos elementares. Podem-se citar como exemplos de processos unitários, neste caso, a aquisição de matérias-primas de um bem, sua produção e seu uso. As matérias-primas para a produção podem ainda ser oriundas de programas de reciclagem e reuso. Os resíduos gerados na produção podem ser tratados dentro do sistema de produto ou não. Todos os processos do sistema de produto podem requerer suprimento de energia e/ou transporte.

Dividir um sistema de produto em componentes unitários facilita a identificação das entradas e saídas do sistema. O nível de detalhamento requerido para satisfazer os objetivos do estudo determina os limites de um processo unitário. Segundo Christie *et al.* (1995), um ponto chave é que a análise da melhor opção pode incluir muitos fatores, como impactos de transportes e custo energético da reciclagem de materiais na equação final. Por exemplo, a reciclagem, que poderia ser considerada uma alternativa para o final da vida do produto pode utilizar mais energia que uma opção alternativa de reuso de alguns componentes e disposição de outros.

3.2.2 Metodologia

Uma estrutura metodológica para realização da avaliação do ciclo de vida é sugerida na norma NBR 14040 (ABNT, 2001), que é coerente com a versão mais recente da norma ISO 14040 (2006a). Segundo a norma, esta análise pode ser dividida em quatro fases distintas: definição de objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impacto e interpretação dos resultados. A relação entre estas fases está ilustrada na Figura 3.2. A seguir é feita uma rápida descrição de cada uma destas etapas.

3.2.2.1. Definição dos objetivos e escopo

A definição dos objetivos expressa a aplicação pretendida, as razões para o desenvolvimento do estudo, o público-alvo (para quem o estudo será apresentado) e se os resultados são utilizados em declarações públicas comparativas. Ao mesmo tempo, identifica o propósito do estudo, a natureza da comparação e o alcance esperado. É uma etapa essencial para que se inicie a análise com uma hipótese bem definida.

O escopo delinea os meios de atingir os objetivos; representando a intenção de reproduzir métodos que suportem ou não a hipótese inicial, ou ainda provê uma linha de referência para comparações subseqüentes (Gibson, 1997). Convém que o escopo seja suficientemente bem definido para assegurar que a extensão, a profundidade e o grau de

detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender o objetivo estabelecido (ABNT, 2001).

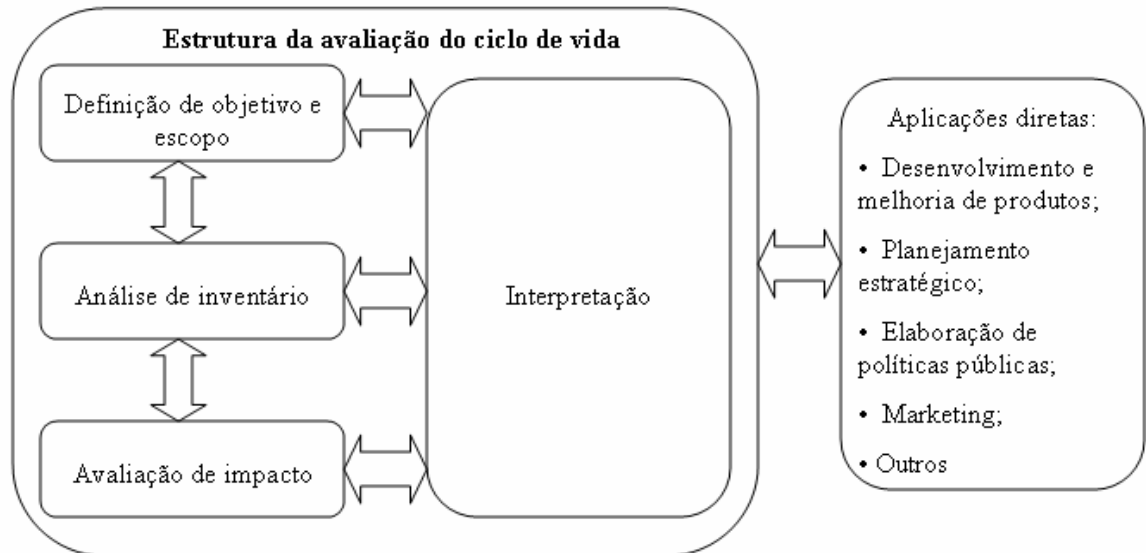


Figura 3.2 Fases da ACV. Fonte: NBR 14040 (2001).

Entende-se extensão, profundidade e grau de detalhe como as 3 dimensões que definem o escopo de uma ACV. A extensão determina o tamanho do estudo, seu início e seu final. A largura determina o número de subsistemas que devem ser incluídos no estudo e a profundidade representa seu nível de detalhamento (Chehebe, 1997).

Na idéia original, a ACV deve seguir todos os fluxos de matéria e energia do sistema de produto, desde sua retirada até o seu retorno ao ambiente natural ao final de seu ciclo de vida. Na prática, o escopo deve ser delimitado, através da definição de bordas que separam o sistema em estudo do ambiente bem como de outros sistemas de produto (Miettinen e Hämäläinen, 1997).

De acordo com Miettinen e Hämäläinen (1997), na ACV deve haver uma distinção clara entre a parte objetiva e a parte subjetiva. A definição dos objetivos e do escopo é um passo subjetivo que deve ser guiado pelas características de tomada de decisão e informações relativas à aplicação em estudo. É importante que a delimitação do escopo seja salientada no estudo para que os resultados não sejam interpretados como uma análise dos impactos ambientais totais ao longo de todo o ciclo de vida do produto.

Esta etapa pode ser dividida em quatro fases, onde são definidos: a unidade funcional, o sistema de produto, a qualidade dos dados e os procedimentos de alocação, conforme descrição a seguir.

3.2.2.1.1. Definição da unidade funcional

A unidade funcional está relacionada à quantificação das funções do produto identificadas. O propósito primário de uma unidade funcional é prover uma referência à qual as entradas e saídas sejam relacionadas; com a finalidade de garantir a comparabilidade dos resultados. Os resultados de uma avaliação do ciclo de vida são totalmente dependentes de como o sistema de produto e suas unidades estão demarcados.

A Figura 3.3 demonstra a seqüência de passos que devem ser realizados na definição da unidade funcional.

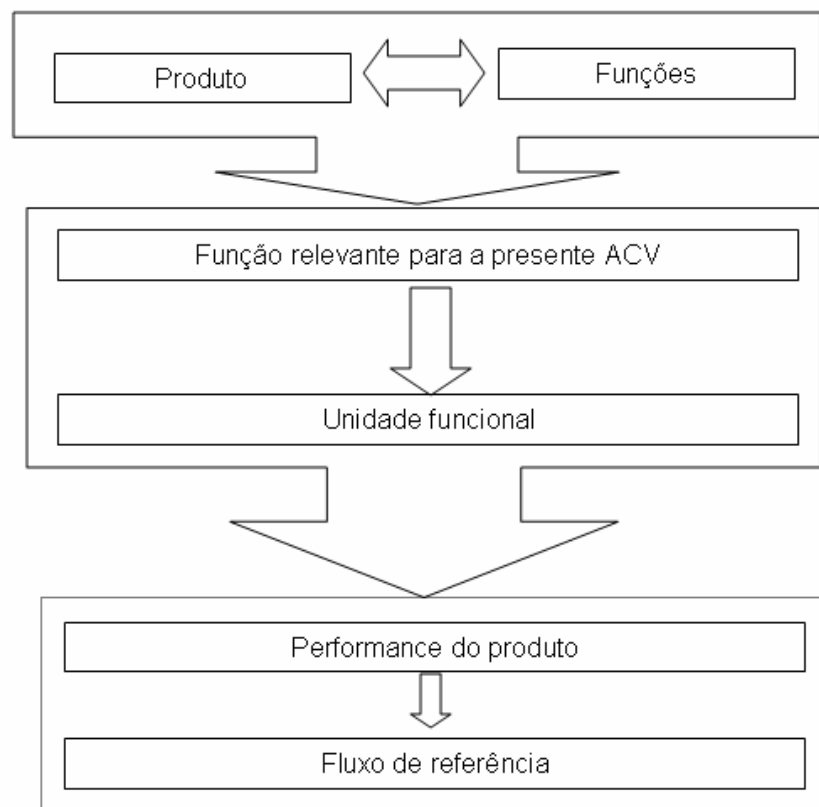


Figura 3.3 Passos para a definição da unidade funcional.

Conforme se observa na Figura 3.3, primeiramente é definido o produto que será estudado. A seguir são enumeradas as funções deste produto. Por exemplo, a função de uma motocicleta é transportar pessoas ou carga. Então, é definida a função relevante para a ACV, que neste exemplo poderia ser transportar alimentos. A unidade funcional está relacionada à capacidade de transportar uma pizza a uma distância de 1000 metros. O desempenho do produto é relacionado à sua capacidade de transporte ou à sua autonomia, como transportar 3 pizzas ou rodar 20 km com um litro de combustível. Deste modo, o fluxo de referência relaciona-se, por exemplo, à capacidade de transporte por tanque de combustível, ou o número de pizzas que pode ser entregue por tanque de combustível.

Após determinada a unidade funcional, é realizada a definição do sistema de produto a ser avaliado

3.2.2.1.2. Definição do sistema de produto

Nesta etapa são definidas as condições de contorno do sistema de produto, que determinam os processos unitários que devem ser incluídos na análise. A escolha de elementos do sistema a ser modelado é dependente da definição dos objetivos e do escopo do estudo, das suposições feitas, das limitações de dados e custos, e dos critérios para a eliminação de partes do processo, que devem ser claramente descritos.

De acordo com Rebitzer (2005), o modelamento do sistema de produto pode ser facilitado através de duas estratégias principais, dependentes do objetivo e escopo e dos dados em modelos disponíveis, que são:

- Utilização de modelos ou agrupamentos de dados existentes, ou dados agregados de estudos prévios e bancos de dados disponíveis. Para isso, os resultados devem ser aplicáveis à ACV em questão.
- Simplificação do sistema de produto, focando em itens chave do processo e eliminando a necessidade de uma coleta de dados completa, bem como de modelamento do processo.

Na prática, utiliza-se a combinação das duas estratégias, ou seja, uma combinação dos dados de inventário comumente disponíveis (como consumo energético, transporte, produção de combustíveis), com elementos de um sistema de produto simplificado (Rebitzer, 2005).

Na falta de ACV similar relacionada ao sistema de produto, de Beaufort-Langeveld *et al.* (1997, *apud* Rebitzer, 2005, p. 12-19) desenvolveram um procedimento sistemático para simplificar a ACV, que consiste em 3 passos: projeto, simplificação e checagem da confiabilidade do modelo (Figura 3.4).

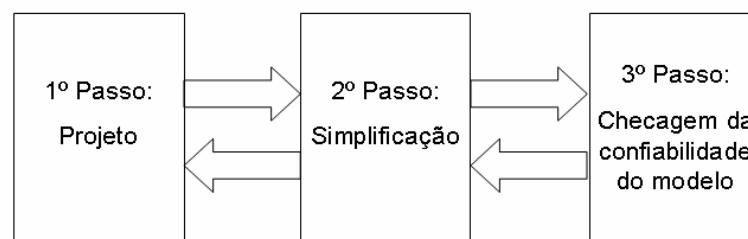


Figura 3.4 Procedimento para simplificar o modelamento da ACV. Baseado em: de Beaufort-Langeveld *et al.* (1997, *apud* Rebitzer, 2005, p. 12)

Este procedimento é iterativo e inicia com uma fase de projeto, que consiste numa pré-análise que serve de guia para a coleta e modelamento dos dados. O objetivo desta etapa é

identificar as áreas, ou aspectos chave, do sistema de produto que contribuem significativamente para os impactos do sistema, sem, no entanto, a obrigatoriedade de sua valoração.

A seguir é realizada a etapa de simplificação, que elimina processos ou fluxos e/ou determina como será realizada a avaliação de impacto de ciclo de vida. Esta etapa conduz à valoração dos impactos do sistema de produto. Hunt *et al* (1998) conclui que a aplicação da simplificação através da redução do nível de detalhamento é preferível. Isto porque permite que os dados sejam coletados para todos os estágios e impactos relevantes, sem eliminar grandes partes do ciclo de vida.

Finalmente, é feita a checagem da confiabilidade do modelo. Esta etapa pode envolver análise de sensibilidade e incerteza (Ferreira, 2004; Rebitzer, 2005), considerações análogas, comparações com outros estudos, julgamento de especialistas, entre outros (Rebitzer, 2005).

3.2.2.1.3. Definição da qualidade dos dados

O tipo e a qualidade dos dados requeridos são importantes na definição da confiabilidade dos resultados do estudo e interpretação correta dos mesmos.

Sistemas de produto normalmente recaem em tipos de processos comuns a praticamente todos os sistemas, como suprimento energético, transporte, tratamento e disposição de resíduos, e fabricação de produtos químicos entre outras matérias-primas. Com a finalidade de melhorar a eficiência na execução da ACV, bancos de dados dos bens e serviços mais comuns têm sido criados em todo o mundo. Recentemente foi publicada uma listagem dos bancos de dados disponíveis, por continente (Curran, 2006). Na América Latina, estas bases de dados estão em desenvolvimento e são organizadas por instituições acadêmicas. No Brasil, por exemplo, estão disponíveis o inventário de energia organizado pela Universidade de Brasília (Caldeira-Pires, 2005) e de aço da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Ugaya e Coelho, 2005).

O uso de dados provenientes de inventários, por outro lado, está limitado a processos com dados disponíveis, com os dados e os modelos sendo coerentes aos limites do sistema em estudo, à alocação, às categorias de impacto selecionadas e à compatibilidade dos dados com a realidade local do estudo.

O uso de bancos de dados de recursos energéticos não renováveis é largamente aplicado uma vez que os dados relacionados à energia estão facilmente disponíveis para muitos processos em separado, bem como na forma agregada. Aliás, muitos impactos ambientais relevantes estão ligados ao consumo e à geração de energia, especialmente de

fontes não-renováveis. Em média, na escala global, a geração e o consumo energético são responsáveis por 90% dos impactos em acidificação, 80% em eutrofização, 65% em mudanças climáticas e 60% em nevoeiro fotoquímico; todos em relação aos impactos totais produzidos pelo homem (Fleischer e Schimidt, 1997).

De forma análoga, na falta de dados e informações disponíveis, ou com a qualidade requerida, o sistema ou partes dele devem ser estabelecidos do zero. Neste caso, a questão é como realizar a coleta de dados, de maneira que sua qualidade esteja de acordo com os objetivos e o escopo, mas sem esforço excessivo. Para tanto, é importante ter conhecimento aprofundado do sistema de produto, facilitando a programação da coleta de dados e extraindo dados de qualidade similar para todo o sistema.

3.2.2.1.4. Definição dos procedimentos de alocação

Na prática, poucos processos industriais geram apenas um produto final ou estão baseados em fluxogramas lineares. A maioria dos processos industriais gera mais de um produto, reciclando intermediários e/ou comercializando subprodutos como matéria-prima para outras empresas. Mesmo que estes produtos secundários não sejam de interesse direto no estudo, sua produção contribui para sobrecarga do ambiente. A definição da alocação, etapa final da fase de escopo, é a técnica de determinar como serão distribuídas estas saídas entre os subprodutos.

Na alocação, a repartição dos fluxos de entrada ou de saída de uma unidade de processo no sistema de produto deve possuir especial atenção. Segundo a NBR 14040 (ABNT, 2001), os fluxos de materiais e de energia, assim como as liberações ao ambiente associadas, devem ser alocados aos diferentes produtos de acordo com procedimentos claramente estabelecidos, que devem ser documentados e justificados.

Conforme a ISO 14044 (ISO, 2006b), para reuso e reciclagem, os princípios de alocação podem ser aplicados tanto em ciclo aberto (*open-loop*), como fechado (*closed-loop*). Na reciclagem de ciclo aberto, o material de um sistema de produto é reciclado em outro sistema de produto. Já na de ciclo fechado, o material é reciclado dentro do mesmo sistema de produto em que foi gerado. Para a alocação em sistemas de reciclagem de ciclo aberto, nos quais a reciclagem não causa mudanças nas propriedades inerentes ao material, a alocação pode ser evitada através do cálculo das bordas ambientais, com o material reciclável sendo utilizado como matéria-prima no mesmo ciclo de vida. A alocação pode ser baseada, ainda, nas propriedades físicas, valor econômico ou número de usos subseqüentes do material.

Ekvall e Finnveden (2001) sugerem três metodologias para solucionar o problema de alocação: a subdivisão, a expansão e a alocação baseada em outras relações.

Em termos gerais, a subdivisão pode ser utilizada somente quando o processo multifuncional consiste em subprocessos de função única, com dados ambientais relativos a cada um destes subprocessos em separado. Isto requer que estes processos estejam separados no tempo ou no espaço (Figura 3.5).

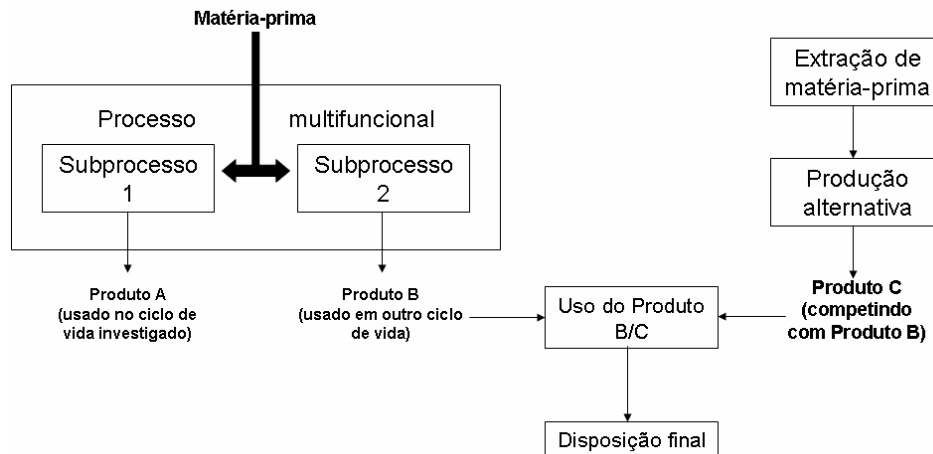


Figura 3.5 Ilustração de um processo multifuncional teórico. Fonte: Ekvall e Finnveden (2001).

A Figura 3.5 ilustra a subdivisão para um processo multifuncional teórico e simples. Este processo consiste em dois subprocessos separados, que produzem dois produtos diferentes a partir da mesma matéria-prima. Apenas o produto A é utilizado no ciclo de vida em questão. O produto B, por sua vez, é exportado para outro ciclo de vida. Neste caso, é realizada a alocação por subdivisão, desde que os dados de produção, uso de insumos, consumo energético e emissões ao ambiente possam ser obtidos separadamente para cada produto.

A vantagem potencial da subdivisão é que ela resulta em informação detalhada sobre o processo multifuncional. Porém, pode requerer muito tempo para a execução de medidas *in loco* (Hogaas e Ohlsson, 1998, Knoepfel, 1994. *apud* Ekvall e Finnveden, 2001, p. 201).

Na expansão, as bordas do sistema investigado são ampliadas a fim de incluir a produção alternativa das funções exportadas. Segundo Ekvall e Finnveden (2001), ela pode ser utilizada em diversos casos de alocação. Por outro lado, requer a coleta de dados de atividades adicionais. Para exemplificar o uso da expansão, a Figura 3.6 ilustra a co-produção de energia, via incineração de resíduos sólidos.

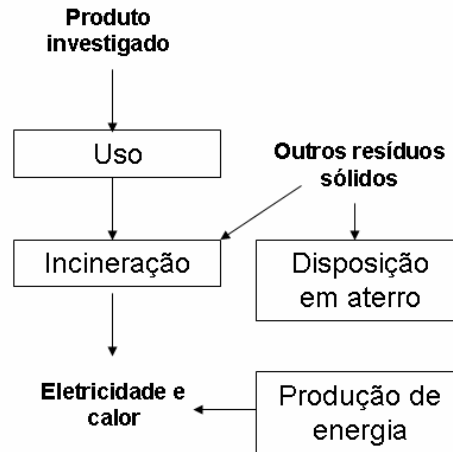


Figura 3.6 Exemplo de expansão. Baseado em Ekvall e Finnveden (2001).

Neste caso, como a energia produzida na incineração é variável, de acordo com o uso do produto analisado, e pode ser utilizada no ciclo de vida em estudo, o consumo energético proveniente de outras fontes pode também sofrer modificações. Por conseguinte, a expansão é utilizada, englobando a disposição de outros produtos e a produção energética.

A alocação baseada em outras relações pode fundamentar-se em relações não causais, como a proporção de determinada propriedade física arbitrária. Este tipo de alocação inclui relações físicas, causais, valor econômico, massa, volume, conteúdo energético. Um dos métodos mais utilizados é o de relações físicas, por ser um dado normalmente fácil de ser obtido e interpretado. Contudo, quando a alocação não é baseada em um modelo preciso de relações causais, o resultado consequente a esta ação não é confiável (Ekvall e Finnveden, 2001).

Depois de definidos o objetivo e escopo da ACV, é iniciada a próxima etapa: a análise de inventário.

3.2.2.2. Análise de inventário

A análise de inventário de ciclo de vida (ICV) envolve coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar entradas e saídas relevantes do sistema de produto, provendo uma perspectiva ampla e sistemática do ambiente e recursos para um sistema de produto (ABNT, 2001).

A análise de inventário é altamente dependente das condições de contorno do sistema e das unidades funcionais escolhidas na fase anterior. O processo de análise de inventário é iterativo: com os dados coletados é possível saber mais sobre o sistema, podendo ser requerida uma maior quantidade de dados, e/ou serem identificadas outras limitações que

indiquem mudanças nos procedimentos de coleta de informação para que os objetivos sejam atingidos.

De acordo com a norma ISO 14044 (ISO, 2006b), a análise de inventário deve incluir: preparação do material para coleta de dados, coleta, validação e agregação dos dados. A seqüência de procedimentos realizados nesta etapa pode ser visualizada na Figura 3.7.

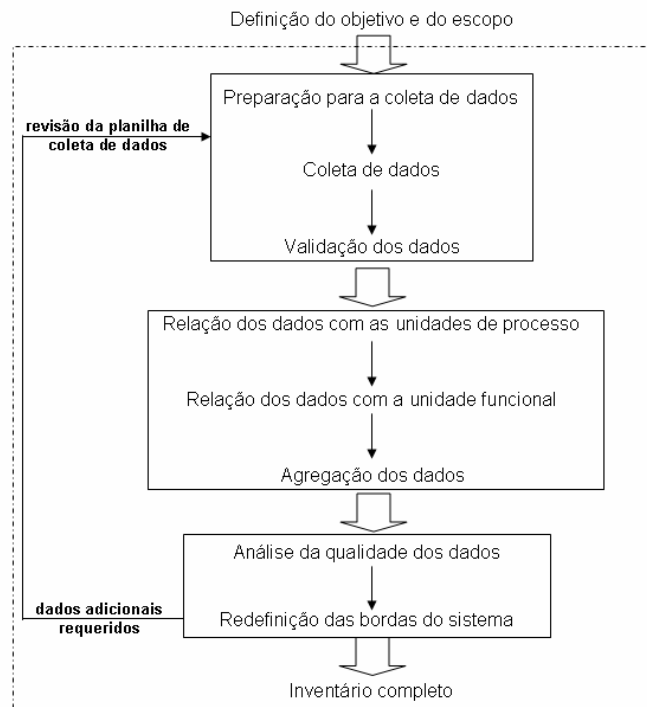


Figura 3.7 Procedimento simplificado para análise de inventário. Adaptado de ISO (2006b).

3.2.2.2.1. Preparação, coleta e validação dos dados

Conforme se observa na Figura 3.7, após a definição do objetivo e escopo da ACV, é realizada a preparação para a coleta de dados. A preparação pode incluir treinamento do pessoal para coleta de dados, definição de quais serão os dados primários e secundários, e preparo de planilhas de coleta. Esta etapa é essencial para a boa execução do ICV, uma vez que, no relatório final, todos os procedimentos de cálculo devem estar explicitamente documentados e as escolhas realizadas devem estar nitidamente declaradas e explicadas (ISO, 2006b).

Após a preparação, é realizada a coleta de dados propriamente dita, por via direta e/ou indireta. É muito importante que sejam registrados todos os procedimentos realizados nesta etapa, e que se observe se o objetivo e o escopo estão sendo atingidos. Depois de coletados os dados, são realizados os procedimentos de cálculo do ICV.

A coleta de dados é relacionada a cada processo unitário dentro dos contornos do sistema e é classificada pela norma ISO14044 (ISO, 2006b) em grupos maiores, conforme segue:

- Entradas de energia, matéria-prima e outras entradas físicas;
- Produtos, subprodutos e resíduos;
- Emissões atmosféricas, descargas na água e no solo;
- Outros aspectos ambientais.

A validação pode ser realizada à medida que os dados são coletados. Procedimentos de validação comumente utilizados são balanços de massa e energia, e/ou análises comparativas de fatores de emissão.

Depois de coletados e validados os dados, são realizados os procedimentos de cálculo do ICV.

3.2.2.2.2. Agregação dos dados

A seguir, os dados coletados são relacionados às unidades de processo e, por fim, à unidade funcional. Nesta etapa, cabe salientar o cuidado especial que deve ser tomado ao converter todos os dados coletados a uma mesma unidade.

Os procedimentos de cálculo com a validação dos dados coletados, relacionando-os aos seus processos unitários e unidades funcionais, são necessários na geração dos resultados do inventário do sistema, de cada processo unitário e da unidade funcional a ser analisada.

3.2.2.2.3. Checagem da qualidade dos dados

Refletindo a natureza iterativa da ACV, decisões relacionadas aos dados incluídos devem ser baseadas em análises de sensibilidade para determinar sua significância (ISO, 2006b). A partir daí, as bordas do sistema podem ser redefinidas e todo o procedimento de ICV, revisado.

Os resultados da análise de inventário formam as bases para a próxima fase do estudo: a análise de impacto. Além disso, a análise de inventário sozinha pode ser valiosa para estabelecer a base de informações dos recursos requeridos para um sistema e para pesquisas ambientais, de planejamento e redução (Gibson, 1997).

3.2.2.3. Análise de impacto

O propósito desta fase é analisar os resultados do inventário e relacioná-los ao seu potencial de impactar o ambiente. Este processo envolve associar os dados do inventário a

categorias de impacto específicas e a indicadores, considerando o entendimento destes impactos.

A análise de impacto pode incluir processos iterativos de revisão dos objetivos e escopo do estudo para determinar se os objetivos foram atendidos, ou apontar a necessidade de modificá-los, se a análise mostrar que estes não podem ser alcançados.

De acordo com a norma ISO 14040 (ISO, 2006a), a AICV possui elementos mandatários e elementos opcionais (Figura 3.8). Entre os elementos mandatários estão: seleção das categorias de impacto, classificação e caracterização. Entre os elementos opcionais estão normalização, agrupamento e atribuição de pesos.

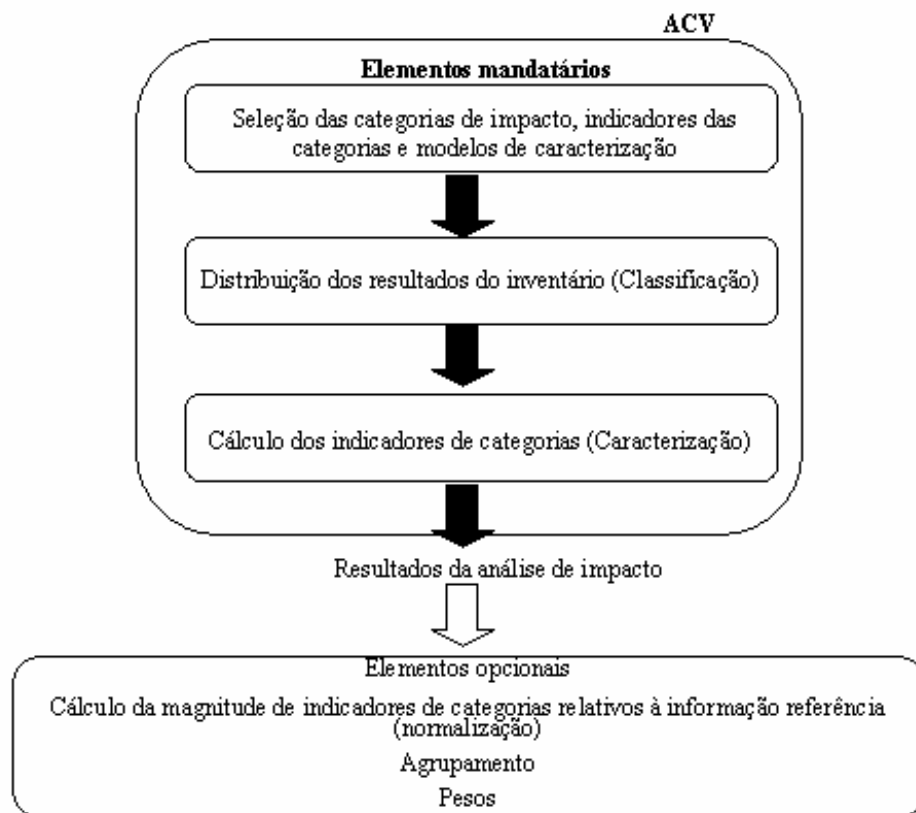


Figura 3.8: Elementos da fase de avaliação de impactos do ciclo de vida. Fonte: ISO, 2006a.

Para facilitar o entendimento das fases da avaliação de impacto, esta seção está subdividida em quatro itens: escolha das categorias de impacto; cálculo dos indicadores das categorias, englobando classificação e caracterização; determinação dos elementos opcionais e metodologias de AICV. Normalmente, a escolha da metodologia de AICV a ser utilizada é realizada juntamente com a escolha das categorias de impacto, na etapa de definição do escopo. Porém, considerou-se apropriado realizar uma breve introdução a respeito das etapas da avaliação de impacto antes de demonstrar as metodologias estudadas.

3.2.2.3.1. Escolha das categorias de impacto

O nível de detalhamento, a escolha de categorias de impacto e metodologias utilizadas dependem do objetivo e do escopo do estudo. Esta análise refere-se apenas aos impactos relacionados ao objetivo e escopo, não sendo uma análise completa do impacto causado pelo objeto em estudo.

A escolha, modelamento e avaliação das categorias de impacto podem introduzir subjetividade nesta fase do estudo. Por isso, deve haver transparência nesta etapa, assegurando que as hipóteses sejam claramente descritas e relatadas. Relacionar objetivamente as entradas e saídas do inventário a impactos ambientais atuais ou potenciais é problemático e introduz o dilema de valorar um impacto mais do que outro (Gibson, 1997). Por outro lado, o uso de métodos de avaliação de impacto do ciclo de vida, suas regras e nomenclaturas, podem gerar incertezas devidas a incompatibilidades e inconsistências (Rebitzer, 2005). Portanto, ao aplicar estes métodos, devem-se observar as especificidades do estudo em relação às condições de contorno definidas na metodologia aplicada.

A seleção e definição das categorias de impacto podem tanto se alinhar às categorias tradicionais de impacto - como aquecimento global, acidificação e depleção dos recursos minerais - como pode definir categorias que representem características específicas para tomadas de decisão relacionadas a um determinado procedimento (SETAC, 1998).

As categorias de problemas ambientais descritas a seguir estão de acordo com Chehebe (1997), Goedkoop e Spriensma (2000), ISO/TR 14047 (2003), Jolliet *et al.* (2003) e Udo de Haes *et al.* (1999).

Depleção dos recursos energéticos não-renováveis: Utiliza os resultados de inventário relativos à extração de recursos de diferentes fontes energéticas não-renováveis. O indicador desta categoria é o conteúdo energético destes recursos ou poder calorífico inferior¹ total, em megajoules (MJ). Esta categoria possui efeitos relacionados à mobilidade e aquecimento, bem como aos problemas relativos às crises energéticas.

Depleção dos recursos minerais (à exceção dos energéticos): Utiliza os dados de inventário de extração de recursos. O indicador da categoria é a extração de minerais em jazidas em função da estimativa de estoque reserva. A categoria é expressa na massa total de minério utilizada dividida pela massa total de minério disponível. Seus efeitos estão relacionados à disponibilidade de recursos.

¹ Poder Calorífico é a energia liberada (fornecida) através da queima de algum combustível. O Poder calorífico é superior quando se tem comburente em excesso e é inferior quando se tem combustível em excesso.

Mudanças climáticas: Quantidades crescentes de gases que provocam o efeito estufa (CO_2 , N_2O , CH_4 entre outros) na atmosfera terrestre estão conduzindo a uma absorção cada vez maior das radiações emitidas pela Terra e, conseqüentemente, ao aquecimento global. Para calcular a magnitude desta categoria, utiliza-se os dados de inventário de emissão de gases efeito estufa. O indicador da categoria é o aumento da radiação infravermelha, em Watts por metro quadrado (W/m^2). O fator de caracterização é o potencial de aquecimento global, para um horizonte de tempo de 20, 100 ou 500 anos, para cada emissão, em relação ao dióxido de carbono ($\text{kg CO}_2 \text{ eq}/\text{kg}$ emissão). O resultado do indicador é expresso em massa de CO_2 equivalente ($\text{kg CO}_2 \text{ eq}$). Esta categoria está relacionada a anos de vida perdidos, destruição de recifes de corais, mudanças no ecossistema, entre outros.

Depleção do ozônio estratosférico: A exaustão da camada de ozônio conduz ao aumento da quantidade de raios ultravioleta que atingem a superfície da Terra, o que pode resultar no desenvolvimento de doenças, danos a diversos tipos de materiais e interferência no ecossistema. Para a determinação desta categoria, são utilizados os resultados de emissão de gases agressivos à camada de ozônio do ICV. Seu indicador é a redução da camada de ozônio e o fator de caracterização é o potencial de depleção de cada emissão ($\text{kg CFC-11 eq}/\text{kg}$ emissão).

Eutrofização ou nutrificação: A adição de nutrientes à água ou ao solo aumenta a produção de biomassa. Na água, isso conduz a uma redução na concentração de oxigênio dissolvido, o que afeta diversos organismos. Tanto no solo como na água, pode conduzir a alterações indesejáveis no número de espécies no ecossistema (biodiversidade). A determinação de sua magnitude utiliza a emissão de nutrientes registrada no ICV. O fator de caracterização é o potencial de nutrificação de cada emissão ao ar, água e solo em relação ao fosfato ($\text{kg PO}_4^{3-} \text{ eq}/\text{kg}$ emissão).

Ecotoxicidade: A flora e a fauna podem sofrer danos, algumas vezes irreversíveis, causados por substâncias tóxicas. Esta categoria é definida tanto para água como para o solo. Para seu cálculo, são utilizadas as emissões de substâncias orgânicas ao ar, água e solo. O fator de caracterização é o potencial de ecotoxicidade de cada emissão, em relação à substância referência, que pode ser o trietilenoglicol (TEG), por exemplo.

Oxidantes fotoquímicos: Sob a influência dos raios ultravioletas, os óxidos de nitrogênio reagem com as substâncias orgânicas voláteis, produzindo oxidantes que causam o nevoeiro fotoquímico. Este impacto está relacionado às emissões atmosféricas de compostos orgânicos voláteis e monóxido de carbono. Seu fator de caracterização pode estar relacionado, por exemplo, ao etileno (C_2H_4) ou ao ozônio (O_3).

Acidificação: A deposição ácida, resultante da emissão de óxidos de nitrogênio e enxofre para a atmosfera, para o solo ou para a água pode conduzir a mudanças na acidez da água e do solo, com efeito tanto sobre a fauna quanto sobre a flora. A chuva ácida pode, ainda, colaborar na deterioração de monumentos e edificações. O indicador da categoria pode ser expresso em máxima liberação de prótons (H^+) ou fração potencialmente desaparecida (Potentially Disappeared Fraction - PDF). O fator de caracterização é o potencial de acidificação de cada emissão ($kg\ SO_2\ eq/kg\ emissão$) ou é relacionado à fração potencialmente desaparecida por metro quadrado por ano ($PDF.m^2.ano/kg\ emissão$).

Toxicidade humana: Relativa à exposição do homem a substâncias tóxicas, por ingestão ou inalação. Seus valores de caracterização estão relacionados a efeitos toxicológicos crônicos, estimativas do risco toxicológico acumulado e impacto associados a uma determinada massa de um elemento químico emitida ao ambiente. Inclui efeitos carcinogênicos e não-carcinogênicos. Seu indicador pode ser medido em kg de cloroetileno (CH_2CHCl) emitidos ao ar, em anos de vida perdidos (YLL- years of life lost) ou ajustados por incapacidade (DALY- disability adjusted life years).

Efeitos respiratórios: Estudos epidemiológicos demonstram que diversas substâncias inorgânicas e material particulado estão relacionados a efeitos respiratórios em humanos. As emissões atmosféricas que causam o contato com estas substâncias são material particulado, NO_x , NH_3 , CO , compostos orgânicos voláteis e SO_x . Os valores de caracterização estão relacionados à emissão de material particulado ($PM_{2,5}$ – partículas com diâmetro aerodinâmico menor que 2,5 micrômetros).

Radiação ionizante: Categoria relacionada à emissão de radionuclídeos, átomos com núcleos instáveis, que emitem radiação. Estes átomos podem provocar danos à saúde humana como câncer e efeitos hereditários. A categoria é medida em kg Bequerel eq do Carbono-14 emitidos ao ar ($kg\ Bq\ C-14\ eq\ ar$).

Uso do solo: O impacto da mudança da cobertura do solo ao ecossistema é bastante significativo, não apenas localmente. O cálculo dos índices de caracterização destes impactos é baseado em observações empíricas de número de espécies em diferentes ecossistemas terrestres, extrapolações de dados de laboratório e modelamento computacional. Esta categoria é expressa em área arável afetada por ano.

3.2.2.3.2. Cálculo dos indicadores das categorias de impacto

O cálculo dos indicadores das categorias engloba a classificação e a caracterização, conforme descrito na Figura 3.9.

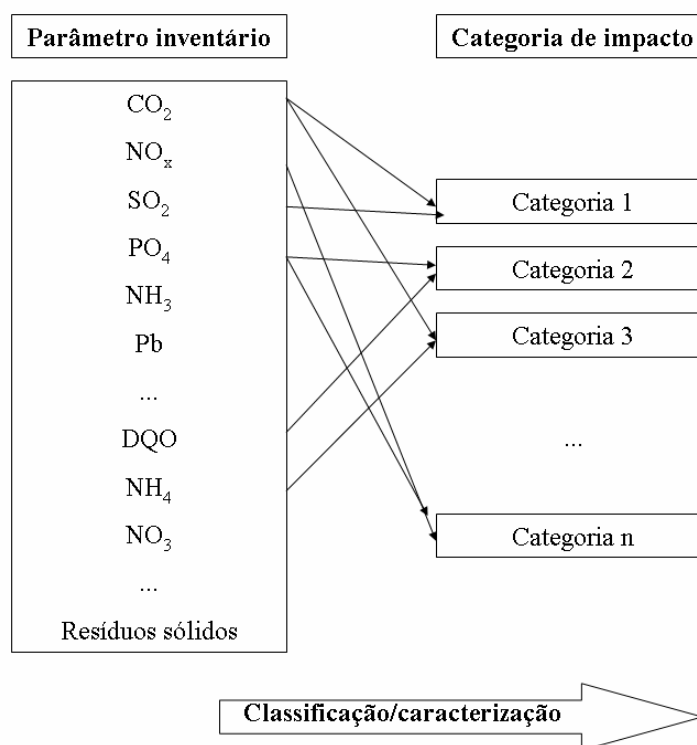


Figura 3.9 Elementos mandatórios fase de análise de impacto do ciclo de vida.

Conforme se observa na Figura 3.9, a classificação é a alocação dos resultados inventariados às diferentes categorias de impacto, de forma qualitativa. Nesta fase 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. Cada dado do inventário pode contribuir com vários tipos de problemas ambientais. Por exemplo, as emissões atmosféricas de NOx tem efeitos sobre a respiração humana, acidificação e nitrificação do solo.

A caracterização é a etapa em que os dados são agregados em cada uma das categorias e os impactos ambientais são convertidos ao indicador da mesma. É um passo quantitativo que analisa a contribuição relativa das múltiplas entradas e saídas de cada categoria, para um determinado impacto potencial. Deve agregar as categorias de impacto com base em fatores de equivalência, que possuam embasamento científico e sejam claros a todas as partes.

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 na AICV.

3.2.2.3.3. Determinação dos elementos opcionais

Segundo a ISO 14040 (ISO, 2006a, 2006b), os elementos opcionais da AICV são a normalização, o agrupamento e a atribuição de pesos.

Gibson (1997) afirma que a prática de relacionar impactos ambientais a uma unidade comum não é realista, dada a complexidade e incerteza envolvidas na ACV. Assim sendo, é necessário avaliar profundamente a normalização e atribuição de pesos a ser efetuada antes de aplicá-la, para que não ocorram distorções no método.

Na normalização, o indicador de cada categoria é comparado a um valor de referência. Este valor pode ser a carga ambiental anual de um país ou continente, um valor legal de limite de emissão ou uma expressão econômica como o custo da mitigação de impactos. Como exemplo, pode-se considerar que determinado procedimento emite, anualmente, 1 tonelada de CO₂ equivalente. Se a contribuição anual de um país é de 10⁶ toneladas de CO₂ equivalente, a contribuição deste procedimento é de 10⁻⁶ anos (ou 31,5 segundos).

O agrupamento é o ato de reunir as categorias de impacto em um ou mais grupos conforme definido no escopo do estudo. Pode envolver classificação e/ou graduação das categorias. Possui dois procedimentos aplicáveis:

- Classificação das categorias de acordo com suas características, como nível de abrangência local ou global;
- Graduação de acordo com determinada hierarquia: alta, média e baixa prioridade.

O agrupamento é baseado em juízo de valor. Assim, diferentes pessoas, organizações ou sociedades podem apresentar diferentes preferências. Deste modo, é importante que a escala de agrupamento a ser utilizada esteja definida no escopo do estudo.

Na atribuição de pesos, os indicadores de cada categoria de impacto são multiplicados por fatores e agregados, formando um escore final. A atribuição de pesos é um exercício subjetivo que procura nivelar e comparar a importância relativa de diferentes categorias de impacto individuais para um dado sistema. Pode ser baseada em um potencial de risco, na máxima concentração permitida para determinada substância, nos custos de mitigação ou níveis que se pretenda atingir (Miettinen e Hämäläinen, 1997).

Esta etapa não possui embasamento científico. Por isso, é aconselhável que se realize diferentes métodos de atribuição de pesos, juntamente com análises de sensibilidade, a fim de determinar as conseqüências desta etapa no resultado final.

Segundo a ISO 14040 (ISO, 2006a), a separação da AICV em diferentes elementos é útil por diversos motivos:

- Cada elemento da análise de impacto é distinto e claramente definido;
- A fase de definição dos objetivos e escopo pode considerar cada elemento da análise de impacto separadamente;

- Análises de qualidade, hipóteses e outras decisões podem ser relacionadas a cada elemento;
- A metodologia de AICV, hipóteses e outras operações realizadas em cada elemento são transparentes e facilmente identificáveis para a realização de revisões críticas e relatórios; e
- O uso de valores (pesos) e a subjetividade de cada elemento são identificáveis de forma transparente, permitindo seu uso em revisões críticas e relatórios.

3.2.2.3.4. Metodologias de AICV

Estão disponíveis na literatura vários trabalhos relacionados a metodologias de avaliação de impacto de ciclo de vida (Bovea e Gallardo, 2006). Diversas metodologias de AICV foram desenvolvidas em todo o mundo nas últimas décadas; das quais destaca-se: CML 2 (Guinée *et al.*, 2000), EDIP 2003 (Wenzel *et al.* 1997), Eco-Indicator (Goedkoop e Spriensma, 2000) e IMPACT 2002+ (Jolliet *et al.*, 2003). A escolha destas quatro metodologias está embasada no fato de que abrangem todos os impactos ambientais destacados anteriormente (Seção 3.2.2.3.1), aliado à possibilidade de realizar a normalização.

O método CML 2 (Leiden University, Centre of Environmental Sciences) foi desenvolvido no ano 2000, sendo uma atualização do método CML (1992), que foi um dos primeiros métodos de avaliação desenvolvido e utilizado em vários países. O seu nome está relacionado com a entidade onde foi desenvolvido: o Centro de Gestão Ambiental da Universidade de Leiden, Holanda.

Sua abordagem é do tipo problema-orientado (sem atribuição de pesos). Para cada problema, existem fatores de caracterização quantificados. Uma emissão identificada no ICV é convertida numa contribuição para o efeito de um problema ambiental multiplicando-a por um fator de equivalência.

Os modelos de caracterização recomendados, no método CML 2, para determinar os indicadores de categoria utilizados em estudos ACV, são:

- Depleção dos recursos abióticos;
- Aquecimento global;
- Depleção do ozônio estratosférico;
- Toxicidade humana;
- Eco-toxicidade aquática (água doce, marinha);
- Eco-toxicidade terrestre;
- Formação de ozônio fotoquímico;

- Acidificação;
- Eutrofização.

Para cada um destes indicadores pode ser efetuada a normalização para o mundo em 1990 e 1995, Europa em 1995 e Holanda em 1997.

O método EDIP 1997 (Environmental Design of Industrial Products) foi desenvolvido em 1996. Sua versão atualizada é o EDIP 2003.

No EDIP 2003, as categorias de caracterização são:

- Acidificação;
- Eutrofização;
- Aquecimento global;
- Depleção do ozônio estratosférico;
- Nevoeiro fotoquímico.

O EDIP 2003 trouxe melhorias para as categorias utilizadas, mas não contempla o uso de recursos, produção de resíduos sólidos e a toxicidade humana.

Para o EDIP 2003, a normalização é baseada em equivalente por pessoa para o ano de 1990, e os pesos são baseados na distância ao “alvo”, considerando como alvo as emissões limite para 1990.

A versão EI 99 do método Eco-Indicator é baseada no dano, ligando os resultados de caracterização a três categorias de dano: saúde humana, qualidade do ecossistema e recursos. Uma emissão identificada no ICV é convertida numa contribuição para a categoria de impacto multiplicando-a por um fator equivalente. As categorias de caracterização são:

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

A normalização 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 com interesse em ACV na Suíça.

Este método é modular e três estruturas podem ser aplicadas, refletindo diferentes sistemas de valor:

- Igualitária (E): distribuição de pesos uniforme;
- Individualista (I): maiores pesos para danos à saúde humana;
- Hierárquica (H): maiores pesos para danos à qualidade do ecossistema.

Os autores (Goedkoop e Spriensma, 2000) recomendam a versão Hierárquica do modelo, com ponderação “A” (ponderação média) como método padrão. Os pesos atribuídos em cada uma das quatro estruturas podem ser observados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Pesos utilizados na diferentes estruturas de EI 99.

	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%

Fonte: Goedkoop e Spriensma, 2000.

A metodologia IMPACT 2002+ (Jolliet *et al.*, 2003) propõe a prática combinada de cálculos no nível de caracterização (*midpoint*) e dano, sem atribuição de pesos, através de 14 categorias de impacto. Para a concepção desta ferramenta, novos conceitos e métodos foram desenvolvidos, especialmente na análise comparativa de toxicidade humana e eco-toxicidade. Como esta foi a ferramenta selecionada para o desenvolvimento desta ACV, seu desenvolvimento e suas categorias são detalhados a seguir, de acordo com a descrição dos autores (Jolliet *et al.*, 2003).

As categorias de caracterização e dano utilizadas por esta metodologia estão descritas na Tabela 3.2. Conforme se observa nesta tabela, todos os escores de caracterização são expressos em relação a uma substância de referência, e relacionados a quatro categorias de dano: saúde humana, qualidade do ecossistema, mudanças climáticas e recursos.

Os fatores de caracterização para efeitos toxicológicos crônicos (carcinogênicos e não carcinogênicos) provêm estimativa dos riscos toxicológicos cumulativos e impactos potenciais, associados com a massa (kg) de um produto químico emitido para o ambiente. Estes fatores são determinados pela ferramenta IMPACT 2002 (Pennington *et al.*, 2005), que

modela riscos e impactos potenciais para cerca de 1000 emissões de produtos químicos, aos compartimentos ar, água e solo.

O fator de dano à saúde humana de uma substância i (HDF_i , em DALY por kg emitido) é calculado conforme a equação 1:

$$HDF_i = iF * DR * D \quad (1)$$

A fração absorvida pelos humanos (iF), é a fração de massa de um produto químico emitida ao ambiente que é ingerida pela população como resultado de contaminação alimentar. O fator de efeito (EF) é o produto da dose resposta (DR , em risco de incidência por kg ingerido) pela severidade (D , em DALY por incidência).

Tabela 3.2 Categorias de caracterização e dano e suas unidades (IMPACT 2002+).

Caracterização		Dano	
Categoria	Subst. Referência	Categoria	Unidade
Toxicidade humana (carcinogênicos + não-carcinogênicos)	kg CH ₂ CHCl eq	Saúde humana	DALY
Efeitos respiratórios	kg PM 2,5 eq ar		
Radiação ionizante	Bq eq Carbono-14 ar		
Depleção do ozônio estratosférico	kg CFC-11 eq ar		
Oxidação fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq ar		
Eco-toxicidade aquática	kg TEG eq água	Qualidade do ecossistema	-
Eco-toxicidade terrestre	kg TEG eq solo		PDF*m ² *ano
Acidificação/nutrição terrestre	kg SO ₂ eq ar		Em desenvolvimento
Acidificação aquática	kg SO ₂ eq ar		Em desenvolvimento
Eutrofização aquática	kg PO ₄ ³⁻ eq água		PDF*m ² *ano
Uso do solo	m ² terra arável – ano		
Mudanças climáticas	kg CO ₂ eq ar	Mudanças climáticas	kg CO ₂ eq ar
Recursos energéticos não-renováveis	MJ total energia não-renovável	Recursos	MJ
Extração de minerais	MJ energia adicional		

Fonte: Jolliet et al., 2003.

O fator de caracterização (HTPi, em kg de CH₂CHCl no ar por kg do componente emitido *i*) é obtido dividindo o HDF_{*i*} do componente emitido (inventariado) pelo HDF do CH₂CHCl, que é a substância referência para efeitos carcinogênicos em humanos (Equação 2).

$$HTPi = HDF_i / HDF_{CH_2CHCl} \quad (2)$$

As categorias de ecotoxicidade aquática e terrestre possuem um procedimento para cada compartimento. Para ecossistemas aquáticos, a fração de espécies por unidade de emissão potencialmente atingida, integrada no tempo e no espaço (APAF, em PAF.m³.ano/kg) é calculada baseada em um fator de perda (F_{*i,m*}.θ_{*i*}, em anos) e na taxa de transferência (β_{*i*}, em PAF.m³/kg), conforme segue:

$$APAF = F_{i,m} \cdot \theta_i * \beta_i \quad (3)$$

O fator de perda é obtido multiplicando dois fatores retirados de IMPACT 2002 (Pennington *et al*, 2003). F_{*i,m*} é a fração adimensional de emissão de uma substância *i* em um compartimento *m* transferida aos corpos d'água. O coeficiente θ_{*i*}, medido em anos, corresponde ao tempo de residência da substância *i* na água e é igual ao inverso da taxa de decaimento (k).

A taxa de transferência (β_{*i*}), em PAF.m³/kg, é obtida conforme a Equação 4.

$$\beta_i = 0,5 / FC50 \quad (4)$$

Onde o FC50 (kg/m³) é o fator de contaminação médio afetando 50% das espécies presentes no ecossistema.

O fator de caracterização para ecotoxicidade aquática (AEP, em kg TEG eq água por kg de componente despejado *i*) é obtido dividindo o APAF_{*i*} do componente emitido (inventariado) pelo APAF do TEG (trietileno-glicol, C₆H₁₂O₄), que é a substância referência para ecotoxicidade aquática (Equação 5).

$$AEP = APAF_i / APAF_{TEG} \quad (5)$$

De forma similar é calculada a ecotoxicidade terrestre. Os valores de FC50 são extrapolados em função dos coeficientes de absorção da substância *i* (K_{*i*}, em m³/kg), a densidade do solo (ρ_{*s*}, em kg/m³) e a umidade do solo (ρ_{*w*}, adimensional), conforme a Equação 6.

$$FC50_{solo} = FC50(K_i * \rho_s + \rho_w) \quad (6)$$

Os fatores de caracterização para as demais categorias são baseados em outras metodologias consagradas. Efeitos respiratórios, oxidação fotoquímica, radiação ionizante, depleção do ozônio estratosférico, acidificação/nutrição terrestre, uso do solo e extração

de minerais foram retirados de Eco-indicator 99 (Goedkoop e Spriensma, 2000), adotando o cenário padrão igualitário com normalização em relação à substância de referência de cada um dos impactos. Para mudanças climáticas, os potenciais calculados pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2001) com horizonte de tempo de 500 anos foram utilizados.

Os fatores de caracterização para acidificação e eutrofização aquática correspondem aos descritos em Guinée *et al.*(2001). Para recursos energéticos não renováveis são utilizados os valores de poder calorífico superior (Frischknecht *et al.*, 2004a, 2004b).

A normalização pode ser realizada no nível de caracterização ou de dano (Humbert *et al.*, 2005). A unidade de normalização é *pessoa.ano* e está relacionada às emissões per capita na Europa.

Segundo os autores, a idéia da normalização é avaliar a contribuição de cada impacto no dano total da categoria considerada. Ela facilita a interpretação, comparando diferentes categorias num mesmo gráfico, com as mesmas unidades e permite discutir a atribuição de pesos (Humbert *et al.*, 2005). Por exemplo, se determinado cenário contribui 0,1 *pessoa.ano* para a qualidade do ecossistema e 0,01 *pessoa.ano* para saúde humana, para haver a mesma contribuição para as duas categorias, o peso da categoria de dano saúde humana deveria ser 10 vezes maior que o da qualidade do ecossistema.

A forma sugerida para determinar os resultados de diferentes estruturas numa ACV comparativa é o diagrama triangular ou de tripla entrada (Doka, 2000), uma representação gráfica que permite estimar qual o melhor produto de acordo com os pesos atribuídos às categorias de dano. Para ser realizada a montagem deste diagrama, são considerados os valores de dano normalizado obtidos para cada uma das categorias de dano (Qualidade do ecossistema, Recursos e Saúde humana) e a incerteza do estudo. Um exemplo do uso desta representação pode ser visualizado na Figura 3.10.

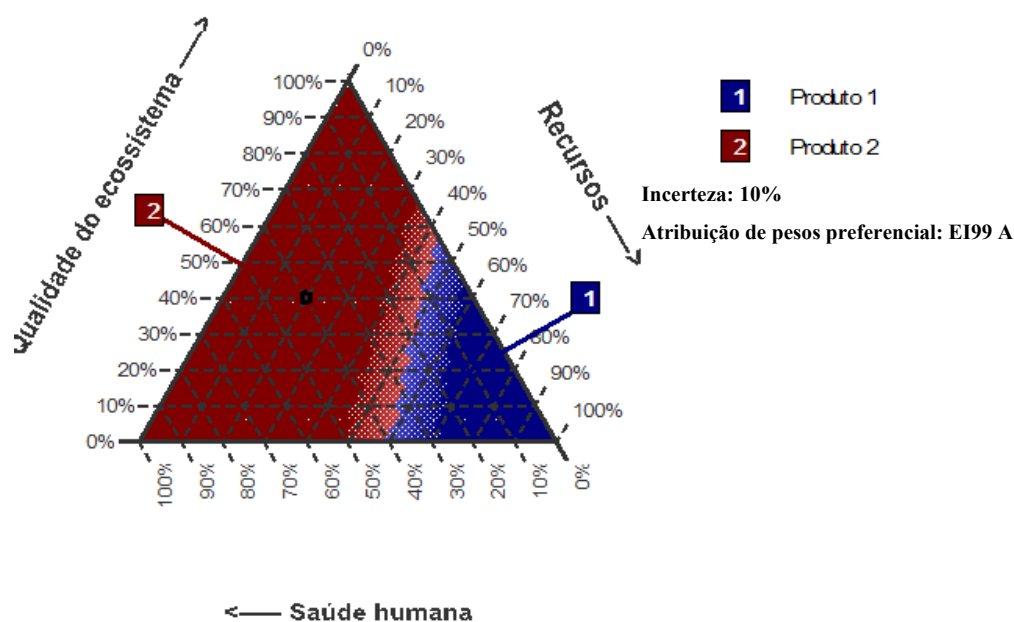


Figura 3.10 Exemplo de representação do diagrama triangular. Fonte: Doka, 2000.

Nesta figura, a área hachurada (em tom mais claro) representa a incerteza do estudo, definida neste exemplo como de 10%. As colorações do diagrama indicam o produto mais viável no quesito ambiental. Nos pontos em vermelho o produto 2 é o mais vantajoso ambientalmente, nos azuis o produto 1. O ponto destacado na parte hachurada em vermelho representa os seguintes pesos para as categorias de dano: 20% para recursos, 40% para qualidade do ecossistema e 40% para saúde humana, equivalente à estrutura EI99 A, da metodologia Eco-Indicator (Tabela 3.1).

Depois de realizados os procedimentos de cálculo da AICV, é realizada a etapa final da análise: a interpretação dos resultados.

3.2.2.4. Interpretação dos resultados

Interpretação é a fase da ACV na qual as constatações da análise do inventário e da avaliação de impacto são combinadas, de forma consistente, com o objetivo e o escopo definidos, visando alcançar conclusões e recomendações.

A fase de interpretação pode envolver o processo iterativo de análise crítica e revisão do escopo da ACV, assim como da natureza e da qualidade dos dados coletados de forma consistente com o objetivo definido. Ela dá condições de relacionar a ACV e outras técnicas de gestão ambiental, enfatizando o tamanho e os limites do estudo em relação aos objetivos e escopo.

A norma ISO 14044 (ISO, 2006b) preconiza que a interpretação dos resultados da ACV deve conter:

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

As relações desta, com as demais fases da ACV estão demonstradas na Figura 3.11.

As etapas de definição do objetivo e escopo e interpretação dos resultados estruturam o estudo, enquanto que o inventário e a avaliação de impactos produzem informações sobre o sistema de produto. Os resultados das fases de ICV e AICV devem ser interpretados de acordo com o objetivo e escopo definidos. Além disso, a interpretação deve incluir a checagem da sensibilidade das entradas, saídas e escolhas metodológicas mais significativas a fim de facilitar o entendimento da incerteza dos resultados.

A interpretação deve considerar, ainda, se o estudo foi coerente com as demarcações realizadas na etapa de definição de objetivo e escopo e as limitações identificadas em avaliações de qualidade e sensibilidade.

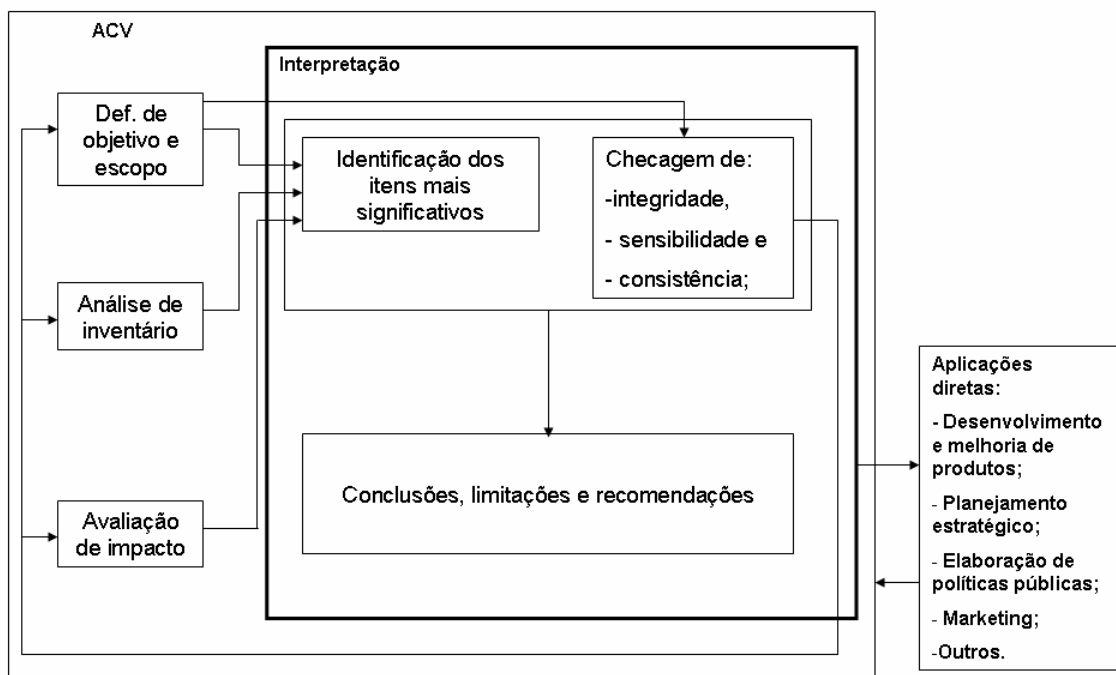


Figura 3.11 Relações entre a interpretação e os demais elementos da ACV. Baseado em ISO (2006b).

3.2.3 Análises de sensibilidade e incerteza

Análises de sensibilidade e incerteza podem ser realizadas em diferentes etapas da ACV. Segundo Maurice *et al.* (2000), a implementação de uma análise de incerteza na ACV

pode ser valiosa para o tomador de decisão julgar a significância das diferenças em comparações de produtos ou em opções de melhoria de produto.

Huijbregts (1998) classifica os tipos de incerteza em ACV em:

- Incerteza de parâmetros: relacionada aos dados de entrada. Medições imprecisas, incompletas ou muito antigas, e falta de dados são fontes comuns deste tipo de incerteza.
- Incerteza do modelo: relacionada ao modelo matemático envolvido, a concepção do modelo e inconsistências que não reproduzem a realidade.
- Incerteza devida a escolhas: relacionada a escolhas padronizadas, como a unidade funcional e/ou critérios de alocação.
- Variabilidade espacial: ocorre especialmente quando são utilizadas bases de dados estrangeiras. O uso de bancos de dados é prático, mas não leva em consideração a variabilidade espacial dos parâmetros no mundo real.
- Variabilidade temporal: variações, especialmente nas emissões e nas características técnicas do processo, são freqüentes.
- Variabilidade entre fontes e objetos, devida ao uso de tecnologias diferentes: podem ocorrer erros em processos comparativos que fabricam o mesmo produto, com tecnologias diferentes.

Existem diversas metodologias disponíveis na literatura para o cálculo da incerteza em ACV. Como exemplo, pode-se citar as descritas em Huijbregts *et al.* (2003), Maurice *et al.* (2000) e Sonnemann *et al.* (2003). As metodologias utilizadas por estes autores são similares e estão descritas nos 5 passos a seguir (Figura 3.12).

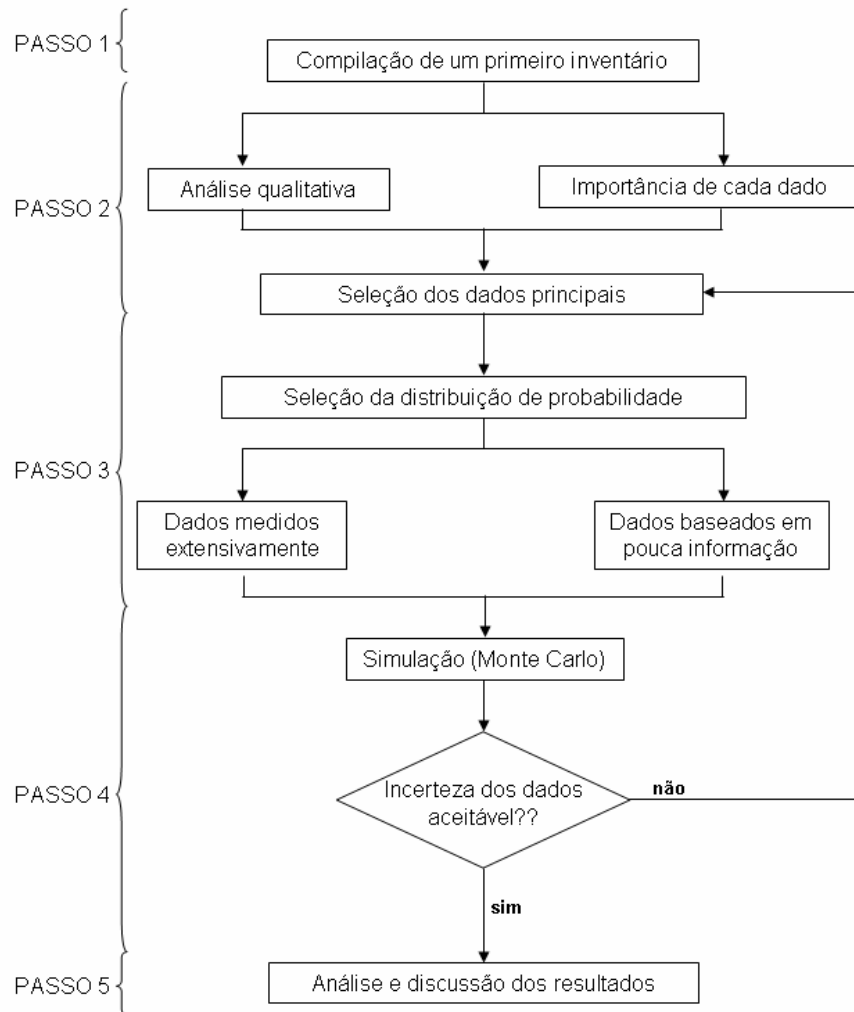


Figura 3.12 Procedimento para quantificar incerteza em ICV. Fonte: Maurice *et al*, 2000.

Primeiramente, é realizada a compilação do inventário, conforme descrito anteriormente no item 3.2.2.2 (Passo 1). A seguir, os principais dados são selecionados, baseado em uma avaliação qualitativa das incertezas dos dados de inventário e sua contribuição para os resultados (Passo 2). Para fluxos elementares, a seleção é feita de acordo com a sua contribuição e incerteza. Apenas fluxos com elevada contribuição e incerteza são selecionados. Para fluxos de produtos intermediários, a seleção é feita apenas de acordo com sua incerteza.

A avaliação da contribuição considera a proporção de cada um dos fluxos nas unidades de processo e no total. A avaliação qualitativa da incerteza considera cinco indicadores: representatividade estatística, idade do dado, fonte do dado, representatividade geográfica e técnica. A metodologia para esta avaliação qualitativa é baseada na atribuição de coeficientes de acordo com as características do dado coletado.

Para a seleção da distribuição de probabilidade, existem duas possibilidades. Se os dados foram extensivamente medidos, é possível calcular sua distribuição de probabilidade.

Do contrário, pode-se utilizar, por exemplo, a metodologia descrita em Weidema (2003), que se baseia na atribuição de coeficientes de variação de acordo com as características do dado.

Com todas as médias e desvios-padrão calculados, é possível realizar a simulação de Monte Carlo (Passo 4). O método de Monte Carlo é um método estatístico utilizado em simulações estocásticas com diversas aplicações. Este método tipicamente envolve a geração de observações de alguma distribuição de probabilidade e o uso da amostra obtida para aproximar a função de interesse (Hromkovic, 2001). Neste caso, especificamente, o método simula a variação dos parâmetros através dos desvios-padrão e das probabilidades fornecidas; retornando uma nova média e desvio padrão para cada parâmetro solicitado.

Se a incerteza dos dados é aceitável, é realizada a análise e discussão dos resultados. Do contrário, a seleção dos dados deve ser refeita e/ou os objetivos e escopo revisados.

3.2.4 Recursos computacionais

Uma maneira de facilitar a análise dos dados e cálculo de incerteza em ACV é o uso de *softwares* especializados. Existem disponíveis diversos programas computacionais com a finalidade de auxiliar na compilação dos dados de inventário, cálculo dos impactos e da confiabilidade e incerteza da análise.

Podem-se dividir estes programas em três tipos principais: bases para intercâmbio de dados, *softwares* para compilação de ICV, e *softwares* para ACV completa. Como o objetivo deste trabalho de mestrado é realizar uma ACV completa, serão agora abordados os principais *softwares* para execução da ACV disponíveis atualmente.

O CMLCA (Chain Management by Life Cycle Assessment) foi desenvolvido pela Universidade de Leiden (Heijungs, 2003). Está disponibilizado gratuitamente no *website* da universidade que o desenvolveu. Realiza a ACV, com análise de incerteza, através de lógica matricial, permitindo a alocação de múltiplos processos. Sua interface é simples, porém não flexível. Os gráficos são razoáveis, mas requerem que o usuário do programa tenha um bom conhecimento do estudo, uma vez que não permite a visualização do sistema de produto em fluxogramas. Outra desvantagem, é o fato do *software* não permitir intercâmbio de dados com outros programas.

O SIMAPRO (System for Integrated Environmental Assessment of Products) foi desenvolvido pela Pré Consultants, uma empresa holandesa de consultoria em ACV (Goedkoop, 2006). Possui versão *Demo* gratuita, com tempo de uso determinado. Sua interface é simples e flexível, permitindo a visualização gráfica do sistema de produto, bem como a obtenção de gráficos a partir de dados de diferentes etapas da avaliação. Realiza ACV

completa, com análise de incerteza através da simulação de Monte Carlo. Sua lógica é matricial, permitindo a alocação de múltiplos processos. Seu formato de arquivo permite o intercâmbio de dados com outros programas.

O *software GaBi* (LBP, PE, 2007) foi desenvolvido pela Universidade de Stuttgart e pela consultoria PE Europe. Do mesmo modo que o Sima Pro, sua versão *Demo* gratuita está disponibilizada em seu *website*. Sua interface com o usuário é bastante simples e flexível, permitindo trabalhar em módulos. Deste modo, os dados de análise de impacto, inventário e modelos de ponderação estão separados; podendo ser facilmente manuseados e depois interligados para o cálculo. Além disso, as várias fases do ciclo de vida (produção, utilização e destinação) podem ser capturadas em módulos e depois modificadas separadamente, uma vez que o *software* e a base de dados são unidades independentes. A estrutura modular também permite a alocação de múltiplos processos.

O *software* realiza ACV completa e sua análise de incerteza pode ser feita de quatro formas distintas: Análise de Cenário, Variação de Parâmetros, Análise de Sensibilidade e Simulação de Monte Carlo. Sua interface gráfica permite a visualização do sistema de produto na forma de fluxogramas e os resultados de todas as etapas, inclusive das análises de incerteza, podem ser visualizados graficamente. Os formatos de arquivo gerados permitem o intercâmbio de dados com outros programas. Por todos os motivos citados, especialmente pela estrutura modular e a possibilidade de realizar diferentes análises de incerteza, este foi o *software* selecionado para a realização deste trabalho.

A estrutura do *software* está dividida em fluxos, processos, planos e balanços. Os fluxos representam as entradas e saídas de cada unidade de processo. O uso dos fluxos permite relacionar suas diferentes características como densidade, poder calorífico e valor de caracterização de impacto. Os processos representam as unidades de processo do estudo, com a quantificação de suas entradas e saídas. Este modelo permite o uso de parâmetros de variação, além de documentar a qualidade dos dados para posterior avaliação. O sistema de produto é representado no plano, onde todos os processos podem ser inseridos e seus fluxos interligados. Quando o sistema de produto e os procedimentos de alocação estão definidos no plano, é calculado o balanço da ACV, que fornece tanto resultados de inventário como de impacto. Ainda, é a partir dos balanços que são realizadas as análises de incerteza e qualidade dos dados.

3.3 Embalagens para o acondicionamento e transporte e de frutas

O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo, atrás apenas de Índia e China, com uma produção estimada de 43 milhões de toneladas para o ano de 2003 (8% da produção mundial). O transporte de frutas é uma das principais etapas do processo que vai da produção ao consumo desses alimentos. Daí a importância do tipo de caixa a ser utilizado para este fim.

Grande parte das embalagens ainda utilizadas para frutas em nosso país são ultrapassadas. Retornáveis ou reutilizáveis, são facilmente contamináveis por patógenos humanos e de plantas, constituindo-se em grande risco para a segurança do alimento e a fitossanidade. Além disso, são abrasivas, causam danos aos produtos, suas medidas externas não permitem a perfeita paletização e uma movimentação moderna (Almeida, 2006).

A Instrução Normativa Conjunta nº 9, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil, 2002), regulamenta o acondicionamento, manuseio e comercialização dos produtos hortícolas – frutas e hortaliças *in natura*, não processadas e colocadas à disposição para comercialização. Dentre suas definições, cabe destacar que estas embalagens devem possuir medidas paletizáveis, e que o fabricante ou o fornecedor de embalagens deve estar identificado nas mesmas, informando as condições de uso: empilhamento suportável, peso máximo, condições de manuseio, entre outros. De acordo com esta Instrução Normativa Conjunta, as embalagens podem ser de dois tipos: retornáveis ou descartáveis. Dentre as embalagens descartáveis, as mais utilizadas em nosso país são as caixas em madeira. Porém, a inserção de embalagens em papelão ondulado no mercado tem apresentado notável crescimento ao longo dos últimos anos.

3.3.1 Embalagens em madeira

A madeira é o material mais utilizado para embalagens de hortaliças no Brasil, principalmente por conta de seu baixo custo e alta resistência mecânica (Henz e Cardoso, 2005). As caixas de madeira utilizadas em nosso país possuem produção artesanal.

Luengo (2001) aponta como vantagens destas caixas: podem ser dimensionadas para oferecer boa proteção ao produto, são construídas com pouca tecnologia e em diferentes formatos e especificações técnicas.

Por outro lado, estas embalagens (Figura 3.13), possuem como principais desvantagens: os crescentes custos de madeira, problemas de ordem sanitária, perdas no transporte e complicações de frete (Topel, 1981 *apud* Vilela e Luengo, 2002, p. 222). No quesito ambiental, pode-se apontar uma acentuada geração de resíduos sólidos. Como estas

caixas são descartáveis, cabe salientar que os cenários de destinação final das mesmas – incineração e/ou disposição em aterro - são de grande relevância.



Figura 3.13 Embalagens para transporte a acondicionamento de hortícolas: caixa de madeira

A madeira de *Pinus* usada na confecção destas caixas apresenta algumas desvantagens em relação a outros tipos de materiais, como papelão ondulado. Os principais problemas destas caixas são formato e dimensões inadequadas e superfície da madeira excessivamente áspera. Como conseqüências danosas do uso de caixas de madeira para produtos hortícolas, podem ocorrer diferentes tipos de danos mecânicos, como compressão, abrasão e cortes (Luengo *et al.*, 2003, Castro *et al.*, 2001). Este tipo de caixa também pode absorver água e manter a umidade da madeira, o que aumenta o peso da embalagem e favorece o crescimento de fungos (Henz e Cardoso, 2005). Assim como em qualquer processo industrial, é necessário um controle rígido para que se obtenha uma caixa de madeira de boa qualidade, evitando danos aos frutos transportados.

3.3.2 Embalagens em papelão ondulado

O primeiro registro de patente para o uso de papelão ondulado (PO) data do ano de 1856 e foi obtido pelos ingleses Healey e Allen para uso como proteção interna de chapéus. Neste ano surge a primeira ondulateira, com dois rolos ondulados, operados manualmente (Associação Brasileira do Papelão Ondulado - ABPO, 2006a).

Segundo a Federação Européia da Indústria de Papelão Ondulado (European Federation of Corrugated Board Manufacturers – FEFCO), a primeira utilização do papelão ondulado como embalagem se dá em 1871, quando o americano Albert L. Jones obteve a patente para envolver produtos frágeis, como garrafas, em embalagens produzidas com PO face simples (FEFCO, 2006).

No Brasil, a primeira fábrica de papelão ondulado foi construída no ano de 1935, produzindo PO parede simples, até então importado da Alemanha. A produção de embalagens

de papelão ondulado mostrou um rápido crescimento, respondendo à demanda por mais embalagens para transporte, devida ao crescimento industrial registrado no período (ABPO, 2006a).

O histórico desta indústria no Brasil tem mostrado considerável crescimento, através de melhoria da matéria-prima, equipamentos, processos de produção e técnicas de impressão da embalagem de papelão ondulado. O setor alimentício foi o principal segmento consumidor de embalagens de PO no Brasil, em 2004, representando 36% do consumo total desta embalagem (Peres, 2005).

De acordo com a nomenclatura da NBR 5985 – Papelão ondulado e caixas de papelão ondulado, terminologia – (ABNT, 1983), o papelão ondulado pode ser classificado como:

- Face simples: estrutura formada por um elemento ondulado (miolo) colado a um elemento plano (capa);
- Parede simples: estrutura formada por um elemento ondulado (miolo) colado, em ambos os lados, a elementos planos (capas);
- Parede dupla: estrutura formada por três elementos planos (capas) colados a dois elementos ondulados (miolos), intercalados;
- Parede tripla: estrutura formada por quatro elementos planos (capas) colados em três elementos ondulados (miolos), intercalados;
- Parede múltipla: estrutura formada por cinco ou mais elementos planos (capas) colados a quatro ou mais elementos ondulados (miolos), intercalados.

Na Figura 3.14 é possível visualizar a estrutura do PO parede simples.

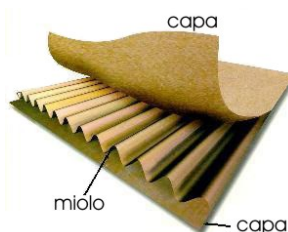


Figura 3.14 Estrutura do PO parede simples.

Nos últimos anos, houve mudanças intensas nas exigências legais que atingem a cadeia de produção de frutas e hortaliças no Brasil. A entrada em vigor da Instrução Normativa Conjunta nº. 9 (Brasil, 2002), em maio de 2003, beneficiou o setor de embalagens de PO, por incentivar o uso de embalagens moduláveis para o transporte destes produtos em paletes. O sistema modulável de embalagens de PO para transporte de hortícolas é mundialmente conhecido por “Common Footprint Standard” (ABPO, 2006b) e pode ser visualizado na Figura 3.15.



Figura 3.15 Módulos paletizáveis em papelão ondulado. Fonte: ABPO, 2006b.

Segundo Henz e Reifschneider (2004), no atacado, as grandes redes de supermercados estão substituindo as caixas em madeira por embalagens auto-expositivas de papelão ou plástico, que diminuem o manuseio e desta maneira reduzem as perdas pós-colheita. Isso porque, em comparação com a caixa de madeira, as caixas de papelão ondulado (PO), apesar de apresentarem valor unitário maior (custo), não possuem o inconveniente da proliferação de patógenos, como ocorre com as caixas de madeira (Castro *et al*, 2001).

Apesar de boa parte das caixas em PO ser reciclada, cabe salientar que o montante não reciclado representa um grande volume de resíduos sólidos produzido. Assim como no cenário madeira, deve-se atentar para a disposição destas caixas ao final de seu ciclo de vida. Igualmente, a fabricação destas embalagens se mostra, em primeira análise, bastante impactante, especialmente pela geração de efluente rico em nutrientes e do volume de emissões atmosféricas gerado ao longo do processo de fabricação das caixas e de seus insumos.

3.3.3 Indústrias de Embalagens

3.3.3.1. Fabricação de Embalagens em Madeira

No Brasil, as embalagens de madeira para acondicionamento de frutas são produzidas artesanalmente. As matérias-primas para a produção destas embalagens são a madeira e pregos ou grampos para fixação. Figueiredo *et al*. (1978) aponta perdas de 10% na fabricação destas caixas. Segundo profissionais da área, a madeira utilizada na confecção das caixas é oriunda de sobras de madeira destinada à exportação, chamadas de refilo.

Serralheiros estimam que mais de 30% do volume de madeira extraído de áreas de reflorestamento não pode ser utilizado por estar fora dos padrões para exportação, constituindo o refilo, que é conduzido ao reaproveitamento. Ao chegar à fábrica de caixas de madeira, este é convertido às dimensões da caixa em um equipamento denominado serra circular de porte leve ou serra múltipla. Pode ser feito acabamento em plaina antes de a madeira ser serrada, a fim de que as caixas apresentem menor rugosidade. Por outro lado, o uso da plaina requer que a madeira a ser utilizada – normalmente o *Pinus* – não seja verde, estando livre de umidade. Depois de cortadas as tábuas nas dimensões da caixa, é efetuada a montagem com pequenos pregos ou grampos, dependendo da madeira utilizada e das especificações da caixa. A parte de refilo que não é reaproveitada para caixas pode ser utilizada como combustível para a indústria de fabricação de celulose, por exemplo. A serragem produzida pode ser utilizada como insumo na indústria ou por produtores rurais.

3.3.3.2. Fabricação de Embalagens em Papelão Ondulado

O principal insumo para a fabricação do papelão ondulado (PO) é o papel não-branqueado. Este papel pode ser produzido com 100% de fibras recicladas ou com uma proporção de polpa, oriunda de fibras virgens. Existem diversos processos de extração de polpa que se dividem basicamente em dois grandes grupos: processo químico e mecânico. Para determinados tipos de papel é realizado o branqueamento da polpa. A polpa Kraft é extraída de cavacos de madeira tipo *Pinus*, num processo alcalino (químico) de cozimento, com temperaturas entre 150 e 170°C (FEFCO, 2003). A partir desta polpa é produzido papel não branqueado de elevada resistência, utilizado especialmente na produção de embalagens ou para a produção de PO.

O processo de fabricação do papel é exclusivamente mecânico. Para a produção de papel a partir de fibras recicladas, o papel seco é convertido numa suspensão de fibras capaz de ser bombeada, pela adição de água e aditivos. Elementos indesejáveis são removidos desta massa por lavagem e gradeamento (FEFCO, 2003). A partir daí, o processo é o mesmo para os dois tipos de papel. É feito o desaguamento da mistura, realizado sob pressão mecânica até a concentração de 25 a 30%. A seguir, a mistura é aquecida por vapor entre 80 e 110°C. Finalmente, a mistura passa por grandes rolos alternados (Figura 3.16), de pressão, secagem e acabamento final, até atingir a umidade desejada (entre 7 e 9%) e adquirir as características do papel. A água coletada nesta etapa é reutilizada no início do processo. Os papéis utilizados para a fabricação de PO utilizam polpa não-branqueada, dispensando o uso de substâncias cloradas, que poderiam conferir muitos impactos negativos a esta fase do ciclo de vida.

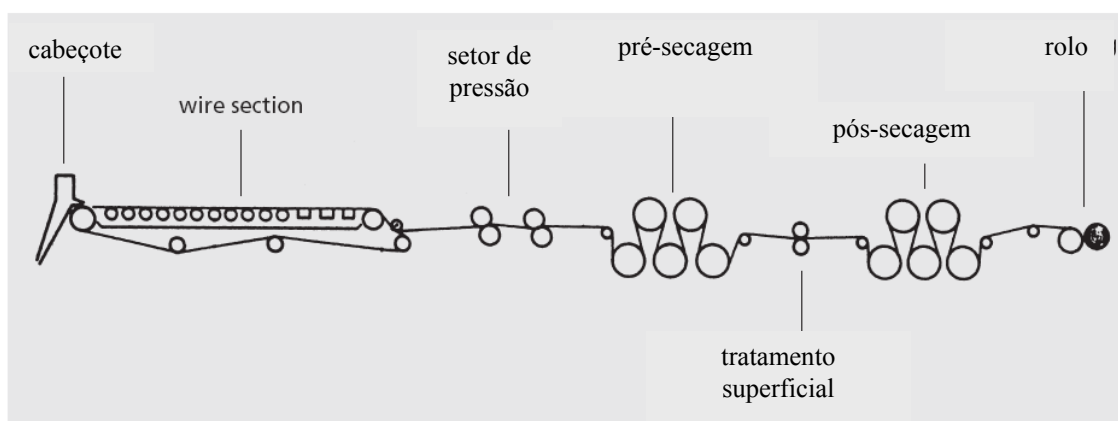


Figura 3.16 Exemplo de equipamento para a fabricação de papel. Fonte: FEFCO, 2003.

A fabricação do papelão ondulado pode ser dividida em duas etapas: produção de chapas de papelão ondulado e produção da embalagem.

Conforme anteriormente especificado, as chapas consistem de elementos planos e elementos ondulados. Estas chapas são concebidas em um equipamento denominado ondulateira, que consiste em um conjunto de máquinas em série, projetadas para unir três, cinco ou sete lâminas de papel, formando respectivamente chapas PO parede simples, dupla ou tripla. O tipo e gramatura do papel dependem da embalagem em produção. A ondulateira é alimentada por bobinas de papel, vapor e cola a base de amido.

Para concepção do elemento plano, o papel é condicionado com vapor, até obter sua forma final. Simultaneamente, ocorre a ondulação de outra bobina de papel, que é também condicionada e inserida entre largos rolos (corpos onduladores), conferindo a característica sinuosa do elemento ondulado. A cola a base de amido é aplicada em uma das faces do elemento plano, que é então unido ao elemento ondulado. Assim, é concebido o PO face simples. Para as demais tipologias, a lógica é a mesma, apenas variando o número de elementos produzidos simultaneamente. A seguir, as chapas são cortadas e empilhadas.

A partir daí, se inicia a confecção da caixa propriamente dita. As chapas de papelão devidamente cortadas são conduzidas à impressora, para receber a estampa impressa. Ainda, se necessário, as chapas podem ser cortadas e vincadas na impressora. Nesta etapa ocorre a emissão de efluentes mais significativa do processo, devida à troca de cartuchos e limpeza dos cabeçotes da impressora, que é realizada para cada lote de embalagens produzido.

3.4 Uso da ACV para embalagens em madeira e PO

Ao se realizar uma ACV comparativa de embalagens em madeira e PO, deve-se atentar a determinadas peculiaridades do ciclo de vida destes produtos. Conforme definição da NBR 14040 (ABNT, 2001), fluxo elementar é o material ou energia que:

- Entra no sistema sob estudo, retirado do meio ambiente sem transformação humana prévia.
- Deixa o sistema sob estudo, descartado no meio ambiente sem transformação humana subsequente.

Deste modo, pode-se considerar que o principal fluxo elementar de entrada para os dois sistemas é a madeira. Contudo, as propriedades específicas da madeira enquanto material que cresce naturalmente, e que, em muitos casos, é usada tanto como insumo como é convertida em energia, requerem considerações metodológicas específicas para o estabelecimento de um inventário de ciclo de vida (Hischier *et al.*, 2005).

Augood (1997) salienta que a madeira não deve ser considerada uma matéria-prima da ACV, e sim um material intermediário obtido de árvores extraídas de uma floresta. Solo, minerais, ar e água, além da energia solar, constituem as matérias-primas para o crescimento de árvores. Ainda, no caso de avaliar-se o uso de madeira de reflorestamento, deve-se considerar o plantio como um processo inserido nos limites do sistema. Yaros (1997) salienta que o problema de omitir o desenvolvimento da madeira dos cálculos leva à conclusão absurda de que alguns processos, como a incineração, seriam produtores de energia. Cabe destacar que os diversos usos da madeira envolvem o ciclo do carbono. Assim sendo, deve-se considerar na análise a absorção de CO₂ durante o crescimento das árvores, bem como sua emissão durante a incineração, o conteúdo energético da madeira, e seu uso como combustível (Augood, 1997 e Yaros, 1997).

Segundo Hischier (2005), nem massa nem volume, isoladamente, constituem uma referência confiável para a definição de fluxos de produtos em madeira. Isso porque, a densidade e o poder calorífico deste material dependem muito de sua umidade, que varia entre mais de 180% na extração até 10% para madeira seca de uso industrial. São especialmente importantes, neste caso, o peso seco, para o modelamento de emissões, e o poder calorífico, para determinar o ganho energético em processos de incineração.

A madeira é um material que se desenvolve naturalmente. Possui forma e estrutura irregular e, por isso, não é o material mais indicado para uso no processo industrial. Conseqüentemente, o gerenciamento e processamento deste material geram uma variedade de co-produtos ao longo da cadeia de processos, desde o plantio, extração, processamento,

reciclagem, incineração e disposição final. Constituem exemplos de resíduos da madeira o refilo (tábuas de madeira de qualidade inferior, não utilizadas para exportação), o cavaco (utilizado em fornalhas industriais) e a serragem (utilizada para incineração ou em ração animal). Muitas vezes, o valor econômico destes co-produtos é bastante inferior ao do produto principal; podendo ainda ser considerado um resíduo a ser disposto.

Como os valores dos produtos são a força por trás de qualquer processo econômico (Huppel, 1992 *apud* Hirsch, 2005, p. 52), processos multifuncionais devem ser alocados baseados no valor econômico dos diferentes co-produtos (Hirsch, 2005). De acordo com Guinée *et al.* (2001), num sistema definido apenas por coeficientes de relações físicas, as entradas determinam as saídas. Entretanto, na ACV, existe a preocupação de como os múltiplos produtos gerados pelo mesmo processo afetam seu funcionamento, incluindo a entrada de matérias-primas e produção de intermediários. Isto se torna bastante lógico ao considerar-se, por exemplo, que na inexistência de uma demanda de madeira para exportação, que possui elevado valor econômico agregado, o refilo não é produzido, uma vez que não faz sentido em termos econômicos. Apenas se a demanda for extremamente elástica, as mudanças na oferta não conduzirão a ajustes mercadológicos (Guinée *et al.*, 2001).

Outra questão bastante relevante nestes dois tipos de caixas é sua destinação final, especialmente pelo valor energético do material de que são constituídas. Segundo o IBGE (2004), as taxas de reciclagem no Brasil, para até o ano de 2002, situavam-se entre 35% e 45%, exceto para o alumínio, cujas taxas atingiram o patamar de 89% para o ano de 2003. Os materiais avaliados neste estudo foram: latas de aço, papel, vidro, embalagens PET e latas de alumínio. Conforme se pode observar, as embalagens em estudo são normalmente recolhidas, ao final do seu ciclo de vida, nas cooperativas ou supermercados. A observação da destinação destas embalagens em grandes centrais de abastecimento, juntamente com os dados de reciclagem acima citados, permite considerar que a taxa de reciclagem e/ou reuso destes recipientes é de 50%.

A disposição final de resíduos sólidos na região em estudo é realizada em aterros controlados. Considerando os valores energéticos dos resíduos produzidos, questiona-se a relevância do uso da incineração em substituição à disposição em aterro.

Em uma ACV para a tomada de decisão da destinação de papéis, Finnveden e Ekvall (1998) concluíram que a energia total utilizada pelo sistema é bastante menor quando o papel é reciclado, do que quando é incinerado. Ainda, considerando-se a energia produzida na incineração, se a fonte energética substituída for de combustíveis fósseis, o uso da incineração

é positivo, por comparativamente gerar menor emissão de gases efeito estufa. Por isso, os autores sugerem o uso deste resíduo sólido como fonte alternativa de energia.

No Brasil, 99,9% de toda a energia produzida vem das seguintes fontes: hidrelétrica, termoelétrica e nuclear (Coltro *et al.*, 2003). Segundo o Balanço Energético Nacional 2005 (Brasil, 2005), ano base 2004, no Brasil, 76% da energia produzida é de origem hidrelétrica, 22% de termoelétrica e 2% de nuclear. Já para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, 62% provêm de hidrelétricas e 38% de termoelétricas. É sabido que a produção energética nas usinas térmicas é bastante mais impactante que a produção de hidroeletricidade, por utilizar como matéria-prima recursos energéticos não renováveis. Assim sendo, em uma primeira análise é esperado que a matriz nacional seja melhor ambientalmente que a destes dois estados. Por isso, ao se conduzir estudos de ACV nestas regiões, cabe avaliar a relevância da produção alternativa de energia através do uso da incineração na destinação final dos resíduos produzidos.

4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso desenvolvido neste trabalho consiste em uma avaliação do ciclo de vida (ACV) comparativa de dois tipos de embalagens descartáveis para frutas: uma em madeira e outra em papelão ondulado (PO).

A metodologia estabelecida para a aplicação da ferramenta ACV no presente trabalho é a recomendada por ABNT (2001) e divide-se em quatro etapas, que serão detalhadas nos itens 4.1 a 4.4.

Para a realização desta ACV, verificou-se a necessidade do uso de recursos computacionais, pelo elevado volume de dados coletado e a necessidade de incorporação de dados de outros ciclos de vida. Além disso, o uso de *software* facilita a utilização e modificação dos dados; pela capacidade de relacionar os dados a diferentes categorias de impacto de ciclo de vida além de analisar os dados segundo diferentes metodologias. O uso da ferramenta computacional permite, ainda, a disponibilidade dos resultados a outros usuários, permitindo sua atualização. Elegeu-se o *software GaBi*, versão 4 (LBP, PE, 2007), pela fácil visualização do sistema em estudo e sua operação em módulos, além da possibilidade de trabalhar com diferentes ferramentas de análise de incerteza, conforme descrito no Capítulo 3.

4.1 Definição do objetivo e escopo

Nesta fase, definiu-se os principais aspectos da ACV. Primeiramente, definiu-se que o objetivo da análise é avaliar e comparar o desempenho ambiental de caixas de frutas não retornáveis. Pela imensa variedade de tipologias e tamanhos destas caixas disponíveis no mercado, optou-se por avaliar as embalagens tipo platô, com capacidade de 6 kg de frutas. Para esta tipologia de embalagem, não são necessárias trocas intermediárias de envase. Isto permite menor incidência de injúrias nos frutos, conferindo maior valor agregado à fruta. Por isso, estas embalagens são normalmente utilizadas para transportar frutas delicadas, como o pêssego e o kiwi. A etapa de utilização destas caixas inicia no produtor de frutas, passa por seu transporte e, finalmente, é exposta ao consumidor final, conforme se observa nos grandes supermercados.

Foram realizadas, nesta etapa, visitas às indústrias de embalagens para frutas, considerando sua logística de transporte; os procedimentos adotados e as especificidades das mesmas e visitas complementares a companhias de abastecimento para observar o uso das diferentes caixas. A partir destas visitas, e da bibliografia revisada, foi delimitado o escopo desta ACV. Nesta etapa, muitas delimitações tiveram que ser realizadas para que se obtivesse

um inventário que satisfizesse os objetivos dentro das limitações existentes em um estudo de mestrado, com tempo, recursos humanos e financeiros limitados.

4.1.1 Definição da unidade funcional

A unidade funcional do estudo está relacionada ao transporte de frutas que ao serem colhidas são acomodadas nestas caixas, para posteriormente serem transportadas ao consumidor final. (Figura 4.1)

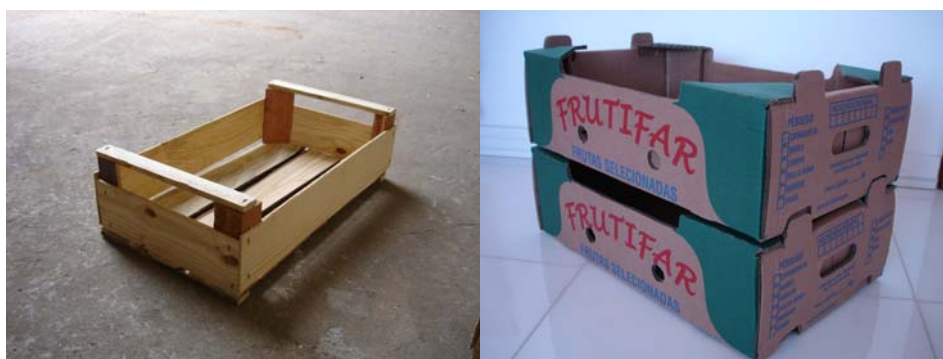


Figura 4.1 Caixas de madeira e papelão para armazenamento e transporte de frutas

A seqüência de passos para a definição da unidade funcional e dos fluxos de referência pode ser observada na Figura 4.2. Primeiramente, identificaram-se as funções destas embalagens, para, a seguir, selecionar a função de interesse e definir a unidade funcional. Como existem diversos modelos de caixas, cada um com suas peculiaridades, definiu-se que as embalagens alisadas possuem capacidade de transporte de 6 kg de frutas. Isso pela maior similaridade nos modelos das caixas e por ser assegurado que as duas teriam a mesma função: transportar, até o consumidor final, 6 kg de frutas delicadas, como o pêssego, principal item de produção da região em estudo. Para definir o fluxo de referência, observou-se que o modal utilizado para transportar as frutas até o consumidor é o rodoviário; mais especificamente caminhões com capacidade de 15 toneladas. Assim, a capacidade de carga destes modais é de 2.000 caixas de frutas com capacidade de 6 kg.

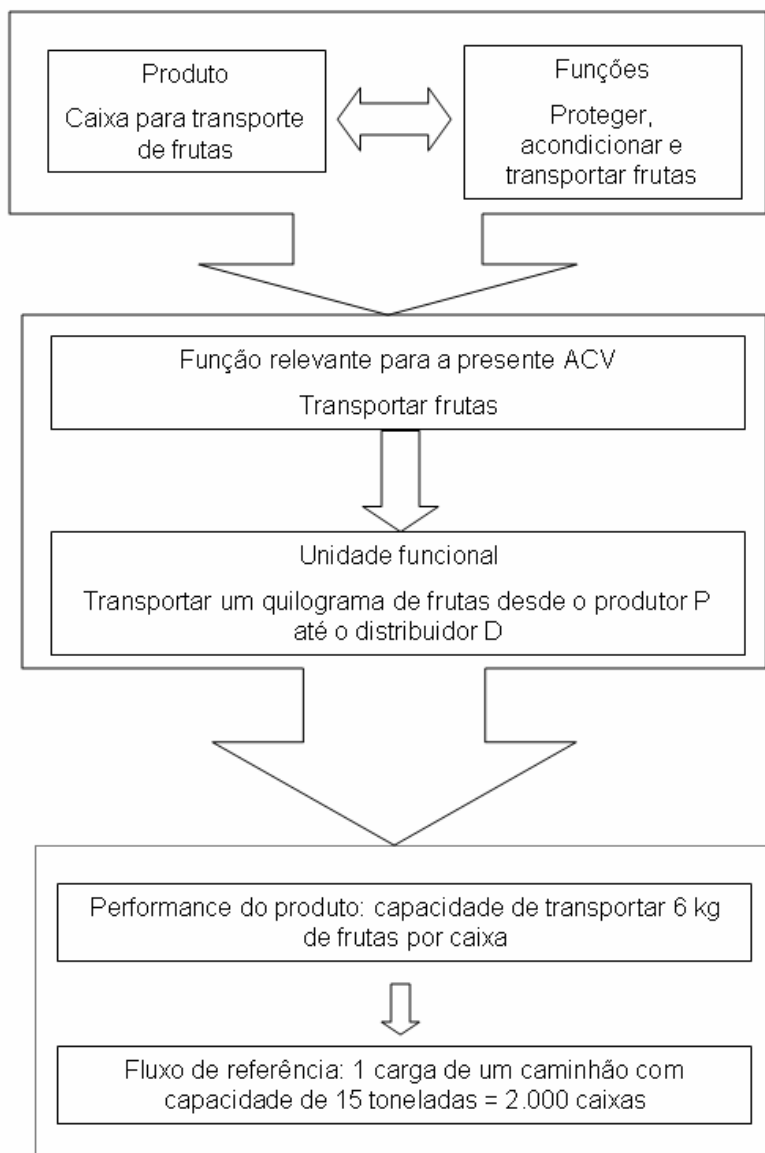


Figura 4.2 Identificação e seleção das funções e da unidade funcional

Após definida a unidade funcional, é realizada a delimitação do sistema de produto.

4.1.2 Definição do sistema de produto

O sistema selecionado possui seus limites na região sul do Brasil, mais especificamente nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porém, os dados de inventário podem ser aplicados em outros locais com realidade similar no Brasil ou mesmo na América Latina.

Os sistemas de produto definidos para o ciclo de vida da embalagem madeira podem ser visualizados nas Figuras 4.3 e 4.4.

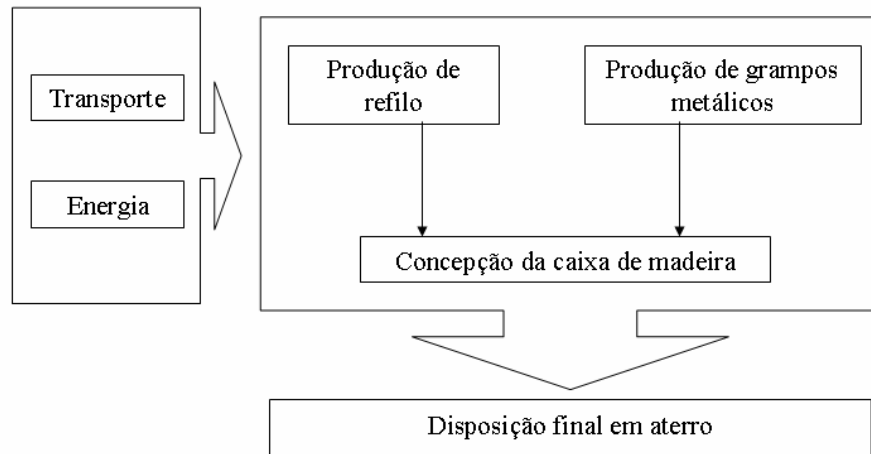


Figura 4.3: Ciclo de vida da concepção de embalagens em madeira.

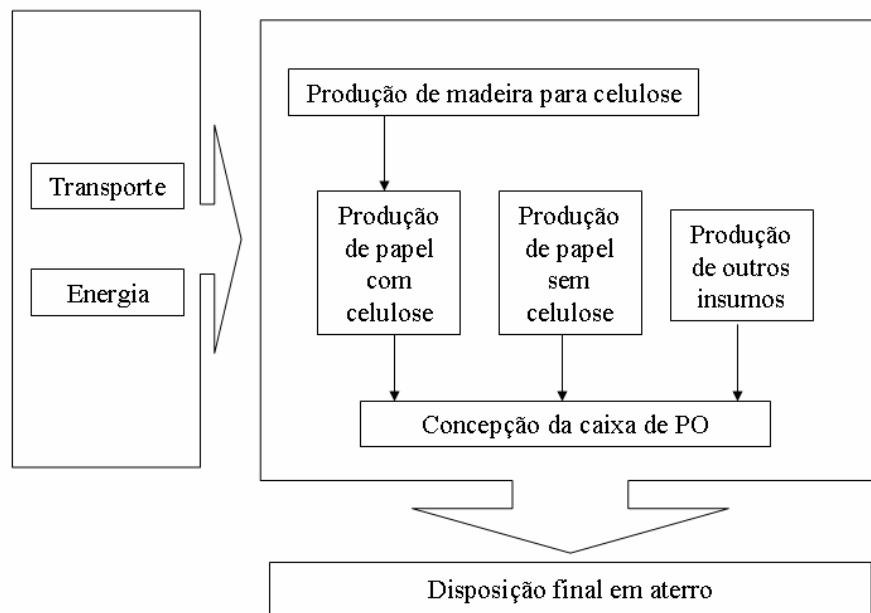


Figura 4.4: Ciclo de vida da concepção de embalagens em papelão ondulado.

Conforme se observa nestas figuras, os dois ciclos de vida em estudo possuem muitos elementos em comum, como a utilização de transporte e energia, e a disposição final dos resíduos sólidos em aterro. Considerou-se relevante avaliar os ciclos de vida de produção de energia e transporte, uma vez que as quantidades requeridas destes insumos pelos ciclos de vida da madeira e do PO são bastante diversas. Do mesmo modo, avalia-se a disposição final, pelo elevado volume de resíduos sólidos produzidos nos dois cenários e suas diferentes características e quantidades. As unidades de processo descritas nas figuras são apresentadas em detalhe na análise de inventário (item 4.2).

Não estão abordados neste estudo os processos de cultivo e colheita das frutas, apenas utiliza-se como unidade de referência a massa de frutas transportada nas embalagens.

4.1.3 Definição da qualidade dos dados

Realiza-se a coleta de dados em passos distintos, conforme segue:

4.1.3.1. Dados Primários

Os dados relativos à concepção da caixa em PO, do papel à caixa impressa, são coletados diretamente na indústria. De forma semelhante obtêm-se os dados relativos à constituição das caixas em madeira. Porém, como nenhuma das indústrias possui sistema de coleta e tratamento de gases, os dados referentes a emissões são retirados da literatura.

Para a obtenção de dados primários realiza-se um planejamento de quais dados devem ser medidos *in loco* e quais devem ser solicitados ao pessoal responsável. Determinou-se que as séries históricas fornecidas pelos profissionais da indústria devem abranger um período de 12 meses corridos, por ser um período que considera as oscilações ao longo do ano e também ser de simples obtenção na indústria. Ainda, os cálculos teóricos são realizados a partir de formulações fornecidas pelo pessoal especializado.

A coleta de dados primários, *in loco*, pode ser dividida em duas fases: uma para as caixas em madeira e outra para as caixas em PO.

Para as caixas de madeira, a quantificação do material utilizado, da produção e dos resíduos sólidos gerados é realizada em base mássica, considerando os principais processos unitários da fábrica: corte, serra e montagem. Os valores obtidos devem ser coerentes com as entrevistas realizadas com o pessoal da indústria.

Do mesmo modo, o processo de fabricação das caixas em papelão ondulado pode ser acompanhado. A coleta de dados deve abranger as etapas de ondulação, corte e impressão, tratamento de efluentes e disposição de resíduos sólidos.

Além das coletas de dados nas duas indústrias, são analisados os dados relacionados ao consumo energético, consumo de água e outros insumos, que são relacionados à produção de bens, resíduos sólidos e efluentes através de séries históricas.

4.1.3.2. Dados secundários

Os dados selecionados são os que mais se aproximam da realidade do estudo, sempre atentando para uma possível variabilidade - tecnológica, temporal e geográfica - relacionada às fronteiras do estudo.

De forma resumida, pode-se observar a origem dos dados considerados neste ICV na Tabela 4.1.

Cabe ressaltar que os valores em azul na Tabela 4.1 correspondem a dados primários e os em amarelo aos dados secundários. 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 e que sua variabilidade geográfica é bastante baixa. Assim sendo, é esperado um bom nível em relação à qualidade, integridade e representatividade dos dados, resultando em baixa incerteza da análise.

Tabela 4.1: Origem dos dados de ICV. Dados primários em azul e secundários em amarelo.

		Plantio	Extração	Corte	Fabricação da caixa madeira	Polpa e papel	Papel reciclado	Fabricação da caixa em PO	Transporte	Energia	Outros insumos	
Entradas	Energia	2	2	2	2	2	2	2, 3	4, 5	4	5	
	Insumos	2	2	2	1	2	2	4				
Saídas	Emissões	ar	5	5	5	5	2	5				4
		água	5	5	5	5	2	-				2
		solo	3	5	5	5	2	-				2
	Produtos	2	2	2	1	2	2	1				
	Subprodutos	2	2	2	1	2	2	1				

Legenda:

1 Medido

2 Entrevista (Séries Históricas)

3 Cálculo Teórico

4 Literatura

5 Banco de Dados

Seguindo as recomendações de Frischknecht *et al.* (2004b), subprodutos e produtos reciclados que representem pouco economicamente para a atividade não devem ser considerados na análise, exceção feita às diferentes frações de resíduos da madeira que são utilizadas como combustível (biomassa). Atualmente, o estado da arte em análises de impactos de toxicidade humana e ecotoxicidade permite uma precisão aproximada de fator 100 (2 ordens de magnitude). Por isso, todos os fluxos que representam um impacto maior do que 1% do escore total devem ser considerados potencialmente importantes (Humbert, 2005b).

4.1.4 Definição do cenário-base

O cenário base da ACV está estabelecido de acordo com o observado na revisão bibliográfica, considerando que:

- Após o uso das caixas, sua taxa de reciclagem é de 50%;
- A matriz energética utilizada é a da região em estudo (RS e SC);
- As caixas não recicladas são dispostas em aterro;

- Quando a alocação não pode ser evitada, esta é realizada considerando a massa e o valor econômico dos produtos;
- Na AICV, é realizada a atribuição de pesos média (“A”), da metodologia EI99 (Tabela 3.1).

A ferramenta selecionada para realizar a análise de impacto é a IMPACT 2002+ (Jolliet *et al.*, 2003; Humbert, 2005), por englobar de modo mais satisfatório as categorias de dano ambiental, com normalização no nível de dano, permitindo uma comparação mais clara dos objetos do estudo, uma vez que se trata de ACV comparativa. Isto porque é esperado que as categorias selecionadas possuam índices de magnitudes muito diferentes, dificultando a comparação.

4.2 Inventário de Ciclo de Vida

O desenvolvimento de um ICV completo demanda grandes volumes de informação, muitas vezes de difícil obtenção, e 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 e adequada à disponibilidade de recursos humanos e materiais.

4.2.1 Preparação, coleta e validação dos dados

A coleta de dados desenvolveu-se em diversas etapas. Primeiramente, verificou-se a disponibilidade de coletar os dados junto às indústrias em estudo. Nesta etapa, foram realizadas medições *in loco* e entrevistas com o pessoal técnico responsável. Os dados secundários foram retirados da literatura e de bancos de dados especializados e adequados à realidade do estudo.

A seguir estão descritos detalhadamente os subsistemas dos ciclos de vida para a concepção dos dois tipos de embalagens. Os fluxogramas para cada uma das unidades de processo estão descritos considerando os principais fluxos mássicos de insumos, produtos, subprodutos, e resíduos sólidos de madeira, papel e papelão ondulado.

4.2.1.1. Produção de refilo e madeira para celulose:

A produção de refilo abrange o plantio, extração e corte da madeira. A produção de madeira para celulose compreende plantio e extração da madeira.

O plantio da madeira inclui limpeza e preparo do solo, com uso de herbicida, plantio de mudas de *Pinus* com idade de sete meses (Figura 4.5), uso de formicida até os três anos da planta. São plantadas 2500 mudas por hectare. Primeiramente, é feita a roçada no campo. A

seguir é aplicado o herbicida em coroas de 80 cm de diâmetro. A dosagem inicial de formicida é de 2 kg/ha. Após a dosagem inicial, são aplicadas iscas nos pontos onde se considerar necessário. Os valores calculados de aplicação de formicida e herbicida, em kg por hectare, podem ser visualizados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Massa de herbicida e formicida aplicados ao solo. Unidade: kg por hectare.

Insumo	Emissão ao solo	Valor
Herbicida	Sal de Amônio N-(fosfometil) glicina	0,74
	Equivalente ácido de N-(fosfometil) glicina (GLIFOSATO)	0,68
	Ingredientes Inertes	0,19
Formicida	Deltamethrin	4,00E-03
	Carbonato de cálcio	2,00
Isca	Fipronil	9,00E-03
	Ingredientes inertes	299,99



Figura 4.5 Muda pronta para ser plantada e estoque de mudas.

A exploração da madeira inclui corte das árvores – aos 8 e entre os 12 e 13 anos para polpa e aos 16 para ser destinada à exportação - e transporte. No caso da madeira para polpa, considera-se que esta é transportada diretamente à fábrica de celulose. Para ser exportada, é necessária uma etapa de preparo da madeira, na serraria.

Calculou-se o volume de madeira produzido neste período de 16 anos de acordo com Mainardi *et al* (1996), conforme pode ser visualizado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 Volume de madeira produzido e retirado em cada uma das podas.

Destino da madeira	Podas	Volume antes da poda (m ³ /ha)	Volume após a poda (m ³ /ha)	Retirada (m ³ /ha)	Retirada total (m ³ /ha)	Retirada total (%)
Produção de celulose	1º desbaste - 8 anos	396,57	247,86	148,71	372,00	33%
	2º desbaste - 12 anos	595,43	372,14	223,29		
Exportação	Final - 16 anos	743,43	0,00	743,43	743,43	67%
Total					1115,43	

Como é possível visualizar na Tabela 4.3, 33% do volume de madeira produzido destina-se à produção de celulose e 67% vai para a serraria. A massa específica estimada da madeira *Pinus* é de 517 kg/m³, coerente com os valores obtidos por Rezende *et al.* (1999).

Os valores calculados para a alocação em valor econômico foram retirados de bases estatísticas referentes ao custo da madeira (Florestar Estatístico, 2006). Para o compartimento de extração da madeira, considerou-se os seguintes dados (Tabela 4.4):

Tabela 4.4 Valores de alocação para o processo de extração da madeira. Valores relativos a 1 tonelada de madeira extraída.

Destinação da madeira	Produção de madeira (kg)	Produção de madeira (m ³)	Valor econômico (R\$/m ³)	Produção x Valor econômico	Alocação por massa e valor econômico (%)
Polpa	276	0,53	30,00	16,01	21%
Serraria	562	1,09	55,00	59,79	79%
Total				75,80	100%

Como se observa na Tabela 4.4, a alocação por massa e valor econômico confere peso bastante maior à madeira que vai para a serraria do que a que será utilizada para polpa. Assim sendo, a maior parte das emissões relativas à extração da madeira está relacionada à madeira para a exportação e seus subprodutos.

Na serraria, etapa denominada corte da madeira, é realizado o preparo e a laminação das peças. Boa parte da madeira que é extraída da floresta não pode ser aproveitada por estar fora dos padrões de exportação. O resíduo gerado nesta etapa é constituído especialmente de cascas, tábuas de dimensões que não atingiram os padrões e sobras menores devidas ao acabamento. Para um melhor aproveitamento desta madeira, os resíduos são convertidos em cavaco e refilo (Figura 4.6) que são utilizados, respectivamente, como biomassa em caldeiras industriais e na fabricação de embalagens em madeira. Para esta etapa, os dados foram inventariados junto a uma madeireira da região em estudo.



Figura 4.6: Cavaco e refilo estocados nas indústrias visitadas.

Segundo os técnicos da madeira, e as séries históricas obtidas, 69% da madeira produzida é utilizada para exportação e 31% como refilo. Para efeitos de alocação, a serragem produzida foi considerada um resíduo sólido a ser disposto, uma vez que seu volume é pequeno e seu valor econômico é bastante reduzido, comparado ao do refilo e da madeira para exportação. Os valores de alocação são visualizados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 Valores de alocação para o processo de corte da madeira. Valores relativos a 1 tonelada de madeira extraída.

Tipo de madeira	Produção de madeira (kg)	Produção de madeira (m ³)	Valor econômico (R\$/m ³)	Produção x Valor econômico	Alocação por massa e valor econômico (%)
Exportação	351,00	0,68	540,00	367,20	86%
Refilo	158,00	0,31	200,00	62,00	14%
Total				429,20	100%

Conforme se observa na Tabela 4.5, a utilização de alocação por massa e valor econômico reduz o peso das emissões da etapa corte em serraria.

As emissões relacionadas à extração e corte da madeira foram obtidas de bancos de dados especializados (Frischknecht *et al*, 1996). O fluxograma desta etapa, com os valores em massa (kg), pode ser visualizado na Figura 4.7.

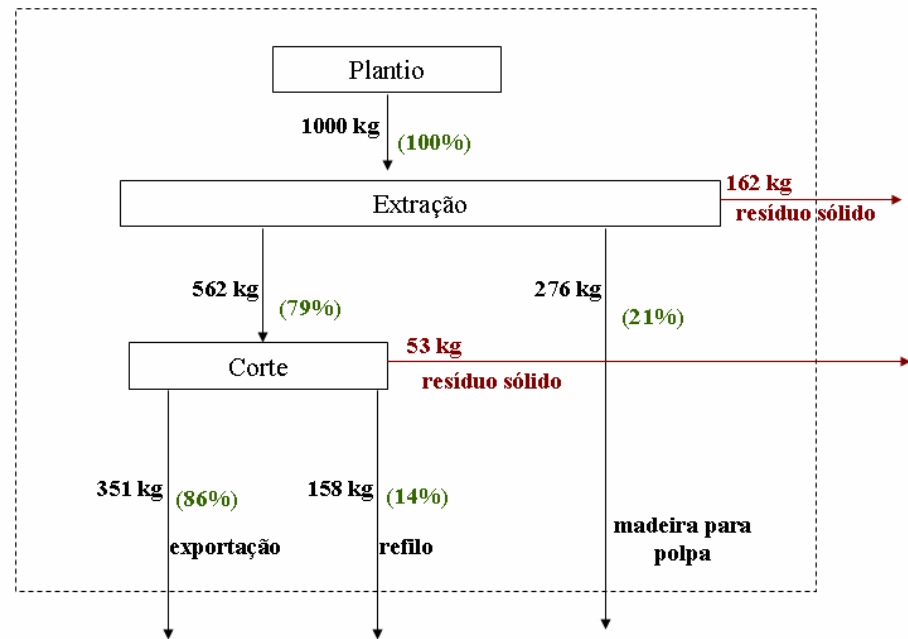


Figura 4.7 Fluxograma da produção de madeira para polpa e reflo. Os números entre parêntesis indicam os valores de alocação por massa e valor econômico utilizados, considerando o volume total de madeira extraída. Unidade: kg de produto por tonelada de madeira extraída.

4.2.1.2. Produção de Grampos Metálicos

Obtiveram-se os dados relacionados à produção de grampos metálicos junto a siderúrgicas (GERDAU, 2005a, 2005b e 2006) e em bancos de dados especializados (LBP, PE, 2007).

4.2.1.3. Fabricação da Caixa de Madeira

Inclui serra e corte da madeira laminada, e grampeamento na montagem das caixas. Os dados foram coletados na indústria. As emissões foram obtidas de bases de dados (Frischknecht *et al*, 1996).

Na indústria visitada, as peças são adquiridas nas dimensões de 21mmx75mmx2m. Ao passarem pela serra, são divididas em três peças de 6mmx75mmx2m, com uma perda esperada de 15% (3mm/21mm) em serragem. A serragem perdida nesta etapa é diretamente succionada até um silo, na parte externa da fábrica. As demais perdas ocorrem no aproveitamento do comprimento da madeira, no corte em peças nas dimensões das caixas (Figura 4.8).



Figura 4.8 Refilo sendo serrado em 3 partes e posteriormente cortado nas dimensões da caixa.

São utilizados aproximadamente 52 grampos por caixa, em três tamanhos diferentes. Os grampos utilizados são fixados manualmente (Figura 4.9), com grampeadores a ar comprimido. Segundo o proprietário, o consumo mensal está entre 150.000 e 160.000 grampos.



Figura 4.9 Grampeamento das peças.

Os resíduos sólidos produzidos, como a serragem e os restos de madeira, são comercializados com produtores rurais, que utilizam a serragem na confecção de ração, e indústrias, que usam estes subprodutos em caldeiras.

O fluxograma do processo de fabricação de caixas em madeira pode ser visualizado na Figura 4.10.

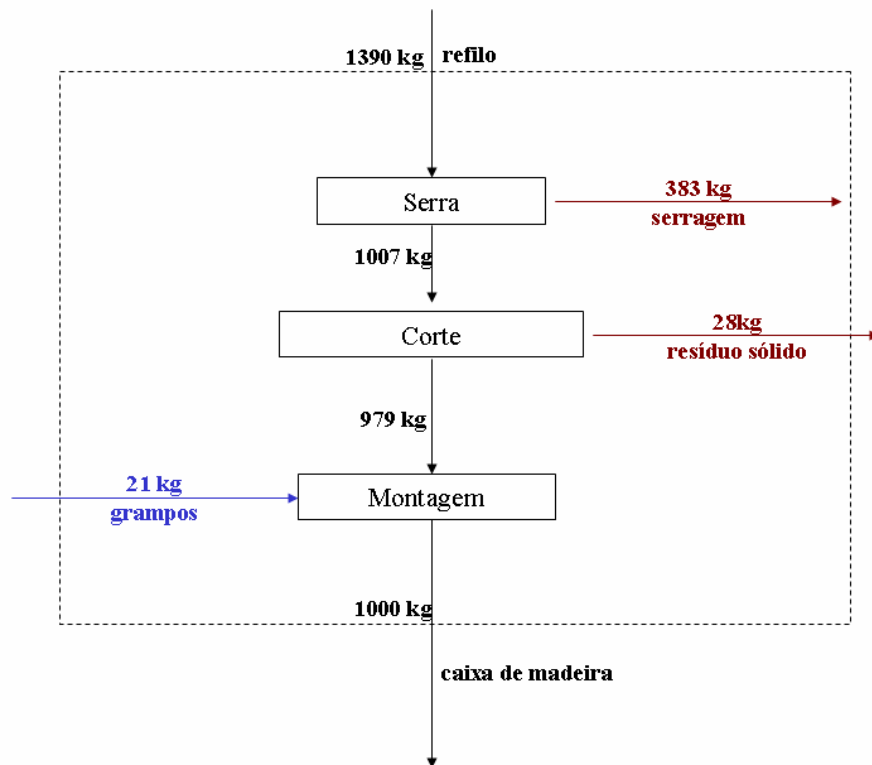


Figura 4.10 Fluxograma do processo de fabricação de caixas de madeira. Unidade: kg de produto por tonelada de caixa de madeira produzida.

O fluxograma da Figura 4.10 demonstra a demanda de insumos e a quantidade de resíduos sólidos e subprodutos gerados na indústria de fabricação da caixa em madeira. Cabe salientar, ainda, que para cada tonelada de caixa produzida, valor correspondente ao encontrado na figura, são consumidos 30 kWh de energia elétrica, de acordo com as séries registradas pela indústria.

Como as caixas são produzidas sem a impressão das especificações técnicas determinadas pela legislação brasileira (Brasil, 2002), considerou-se a utilização de uma impressora para produzir etiquetas no tamanho de 2 folhas A5 de gramatura 150g/m³ por caixa. Os dados de impressão foram retirados da base de dados do *software GaBi* (LBP, PE, 2007).

4.2.1.4. Produção integrada de polpa e papel

Pode ser dividida em duas etapas: produção de polpa Kraft e produção de papel com celulose.

A produção da polpa Kraft inclui: picagem, cozimento, lavagem, depuração, secagem, geração de energia pelo uso de cascas e do licor negro concentrado, tratamento de efluentes

por lodos ativados e disposição de resíduos sólidos. Os dados obtidos referem-se aos totais da planta de produção de polpa, não considerando cada subprocesso em separado.

O papel utilizado na confecção das caixas é produzido a partir de fibras recicladas e polpa não branqueada, num processo exclusivamente mecânico.

Para quantificar as entradas e saídas destes processos, adotou-se a alocação por subdivisão, uma vez que a mesma planta produz papel Kraft, para confecção de PO, e papel para sacos multifoliados, como sacos de cimento, por exemplo. Deste modo, considerou-se apenas a produção de polpa e papel Kraft, que são matéria-prima para as caixas. A produção de eletricidade na planta integrada de polpa e papel foi considerada e descontada da demanda total de eletricidade desta planta.

Os dados dos insumos e emissões (ar, água e solo) relativos à produção de celulose foram obtidos em séries históricas da indústria. As proporções de matérias-primas utilizadas na fabricação do papel foram também colhidas junto à indústria. Os demais dados destes processos foram obtidos na literatura (Integrated Pollution Prevention and Control - IPPC, 2001 e European Federation of Corrugated Board Manufacturers - FEFCO, 2003). Os principais insumos utilizados para a fabricação de uma tonelada de polpa Kraft (celulose) estão descritos na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 Insumos que representam mais que 1% em massa para a fabricação de 1 tonelada de celulose.

Insumo	Quant.	Unidade
CaO	242	kg
NaOH (100%)	20	kg
Na ₂ SO ₄	12	kg
Madeira (biomassa para caldeiras)	5000	kg
Madeira para polpa	5075	kg

Como toda a celulose produzida é utilizada na produção de papel, considerou-se o valor de eletricidade consumido na planta integrada nesta etapa. A eletricidade total adquirida na planta integrada, descontada a co-geração de energia existente no processo, é de 1705 kWh por tonelada de polpa produzida.

Os insumos utilizados para a produção de uma tonelada de papel Kraft estão descritos na Tabela 4.7. O consumo energético foi considerado na etapa de produção da celulose.

Tabela 4.7 Insumos que representam mais que 1% em massa para a fabricação de 1 tonelada de papel Kraft.

Insumo	Quant.	Unidade
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	43	kg
Fibras de papel reciclado	619	kg
Celulose (polpa kraft)	387	kg

O fluxograma da planta integrada de polpa e papel pode ser visualizado na Figura 4.11.

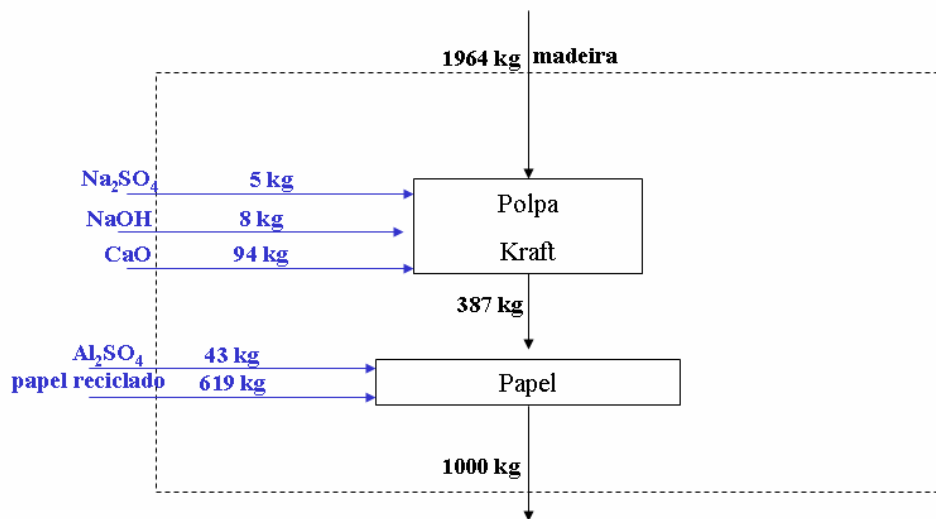


Figura 4.11 Fluxograma da planta integrada de fabricação de polpa e papel Kraft. Unidade: kg de produto por tonelada de papel Kraft produzido.

4.2.1.5. Produção de papel reciclado

A produção de papel 100% reciclado é realizada em processo mecânico, com utilização de fibras de papel ou PO reciclado, que pode ser oriundo de sobras do processo de fabricação de PO ou de cooperativas de catadores de resíduos sólidos. Este processo é realizado em circuito fechado: toda a água utilizada no processo é recirculada. Por isso, não há produção de efluentes. Também, pode-se considerar que a produção de resíduo sólido é nula, uma vez que este resíduo é reaproveitado no processo. Os dados do processo foram inventariados na indústria, com exceção das emissões atmosféricas, que foram retiradas de bancos de dados especializados (FEFCO, 2003).

Observa-se, na Figura 4.12, os principais insumos utilizados para a produção de uma tonelada de papel reciclado. O consumo energético é de 64 kWh por tonelada de papel produzido. Assim como na planta integrada de polpa e papel, considera-se a indústria como uma unidade de processo, não se estabelecendo a coleta de dados para cada equipamento dentro da indústria.

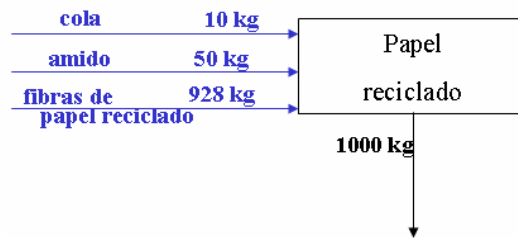


Figura 4.12 Fluxograma do processo de fabricação de papel reciclado. Unidade: kg de produto por tonelada de papel reciclado produzido.

4.2.1.6. Concepção da caixa em papelão ondulado

Esta etapa inclui a ondulação do papel (miolo), colagem das chapas, corte e vinco, impressão, tratamento de efluentes, reciclagem e disposição de resíduos sólidos. Os dados foram coletados junto à indústria, através do acompanhamento do processo e de séries históricas fornecidas pelo pessoal especializado; com exceção das emissões atmosféricas, obtidas na literatura (FEFCO, 2003). O papelão ondulado utilizado na caixa em estudo é do tipo parede dupla: formado por três elementos planos (capas) colados a dois elementos ondulados (miolos), intercalados.

Na indústria visitada, as caixas de PO são feitas em diversos formatos e especificações. Foi realizada a alocação por subdivisão, considerando a representatividade das caixas em estudo em relação ao total de PO produzido. Ainda, para efluentes e resíduos sólidos, foi estimada a geração em volume (efluente) e peso (resíduos sólidos) produzida para a fabricação das embalagens, comparando-a com a geração total destas emissões na empresa.

A coleta de dados foi realizada em etapas distintas. Na onduladeira, foi medida a quantidade de papel (em metros) na entrada, quantificada a saída de chapas, a quantidade de chapas inutilizadas e medida sua massa (kg).

Através de cálculos teóricos relacionados a médias e eficiências observadas historicamente pelo pessoal da indústria, pode-se obter a massa de vapor e cola utilizados, bem como de seus principais insumos – água, amido, bórax e soda cáustica.

A Tabela 4.8 descreve os principais insumos utilizados na onduladeira. O consumo de eletricidade estimado para esta etapa é de 48 kWh por tonelada de chapa de PO parede dupla.

Tabela 4.8 Insumos que representam mais de 1% em massa na fabricação de 1 tonelada de chapa de PO parede dupla.

Insumos	Quant.	Unidade
Cola	47	kg
Papel reciclado	591	kg
Papel Kraft	350	kg
Vapor	40	kg

Percebe-se, pela análise da Tabela 4.8, que mais de 60% do papel utilizado é 100% reciclado. A quantidade de vapor demandada para a produção das chapas consome, ainda, 654 kWh. Assim sendo, percebe-se que a produção de vapor é a principal responsável pelo consumo energético na produção das chapas. A cola é produzida em uma central, e os insumos utilizados em sua produção estão descritos a seguir, na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 Insumos que representam mais de 1% em massa na fabricação de uma tonelada de cola.

Insumo	Quant.	Unidade
Amido	246	kg
Água	708	kg

Como podem ser observados na Tabela 4.9, os principais insumos para a produção de cola são o amido e a água. O consumo energético, de 38 kWh por tonelada de cola, é bastante pequeno se comparado às demais unidades de processo da fabricação do PO.

Após saírem da onduladeira, as chapas são conduzidas à impressora, onde são realizados o corte e vinco. Na impressora, é possível medir as diferenças de massa na entrada e saída do equipamento (chapas e caixas). Ainda, pode-se estimar em volume a quantidade de tinta utilizada na impressão e de água para lavagem dos cabeçotes, bem como o volume de efluente produzido (L). Na Tabela 4.10 estão descritas as entradas e saídas da impressora. O consumo energético estimado é de 952 kWh por tonelada de caixa de PO produzida.

Tabela 4.10 Fluxos de entrada e saída da etapa de impressão, corte e vinco.

Tipo	Fluxos	Quant.	Unidade
Entradas	Chapa de PO	1524	kg
	Caixa de PO	1000	kg
Saídas	Efluente	30	L
	Resíduo de PO	524	kg

Para este modelo de caixa, especificamente, é gerado um volume bastante significativo de resíduos sólidos, pois o *layout* da caixa possui diversos recortes e encaixes, conforme é possível observar na Figura 4.13.

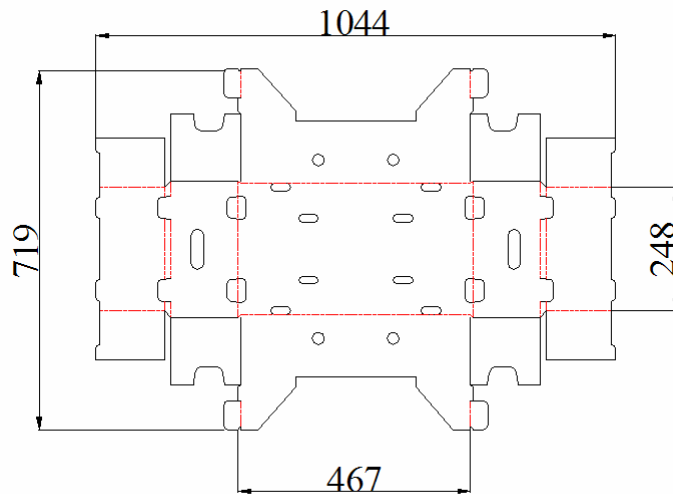


Figura 4.13: Modelo da caixa em PO. Medidas em milímetros.

Como se observa na Figura 4.13, a caixa possui área superficial de $0,52 \text{ m}^2$ e é feita a partir de uma chapa de $0,80 \text{ m}^2$, com uma perda aproximada de 35% no corte. Este resíduo produzido é passado no picador para ser utilizado como fibras de papel reciclado, insumo da indústria de papel. Para cada tonelada de papel que passa no picador, são utilizados 14 kWh de energia.

Os dados de eficiência da estação de tratamento de efluentes industriais (ETEI) e suas séries históricas foram obtidos com os técnicos responsáveis pela operação da ETEI. Não foi considerado o material utilizado para embalar as caixas, uma vez que este material (plástico, cordas e amarrilhos) representa menos de 1% do peso das embalagens.

O fluxograma da etapa de fabricação das caixas em PO está demonstrado na Figura 4.14.

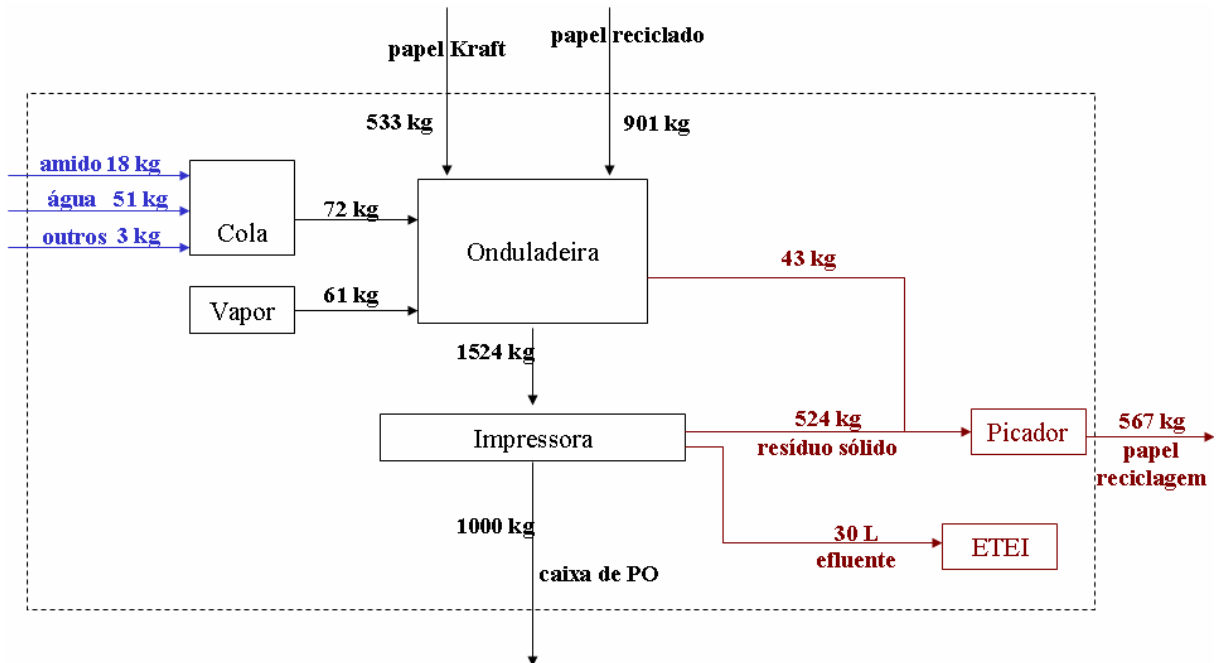


Figura 4.14 Fluxograma da etapa de concepção da caixa em papelão ondulado

4.2.1.7. Produção de outros insumos

Considerou-se, segundo o critério de corte de 1%, que os ciclos de vida dos seguintes insumos são relevantes para a ACV das embalagens em papelão ondulado: amido de batata e sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Os dados para a produção destes insumos foram retirados de bancos de dados especializados (LBP, PE, 2007).

4.2.1.8. Transporte Rodoviário

Este sistema inclui a circulação, entre as unidades de processo, de madeira, papel, resíduos de papel e madeira e caixas em caminhões de 14 toneladas de capacidade e carga média de 9,3 toneladas. As distâncias percorridas foram obtidas junto ao departamento de trânsito local e os fatores de emissão retirados da literatura (Rio Grande do Sul, 2006 e LBP, PE, 2007).

Ainda foram considerados dados referentes à produção do diesel, principal insumo do processo de transporte. Estes dados foram obtidos em bancos de dados especializados (LBP, PE, 2007).

As distâncias percorridas podem ser observadas na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 Distâncias percorridas entre as unidades de processo.

Origem	Destino	Distância (km)	
		Área urbana	Rodovia
Plantio	Extração	25	-
Extração	Planta integrada	126	-
Planta integrada	Fábrica PO	50	300
Papel reciclado	Fábrica PO	10	80
Extração	Corte	50	50
Corte	Fábrica madeira	41	300

Nesta etapa foi considerada a diferença que existe nas emissões de acordo com a velocidade do modal, pois muitas etapas de transporte são realizadas na área urbana da cidade, ou em rodovias não pavimentadas, com desenvolvimento de velocidades mais baixas.

4.2.1.9. Produção de energia elétrica

O uso de energia elétrica está relacionado a praticamente todos os processos da indústria. Seu consumo foi calculado a partir de medições mensais, das características dos equipamentos e de dados da bibliografia. Dados relativos à obtenção de energia foram retirados de bibliografias especializadas na matriz energética nacional (Brasil, 2005; LBP, PE, 2007).

4.2.1.10. Disposição em aterro

Os dados relacionados à disposição de resíduos sólidos em aterro, neste caso em especial as embalagens, foram retirados de bancos de dados especializados (LBP, PE, 2007).

4.2.2 Agregação dos dados

Após coletados todos os dados relacionados às unidades de processo, estes são inseridos no *software GaBi* na forma de processos. A seguir é montado o plano da ACV para os dois cenários, conforme é possível visualizar nas Figuras 4.15 a 4.18.

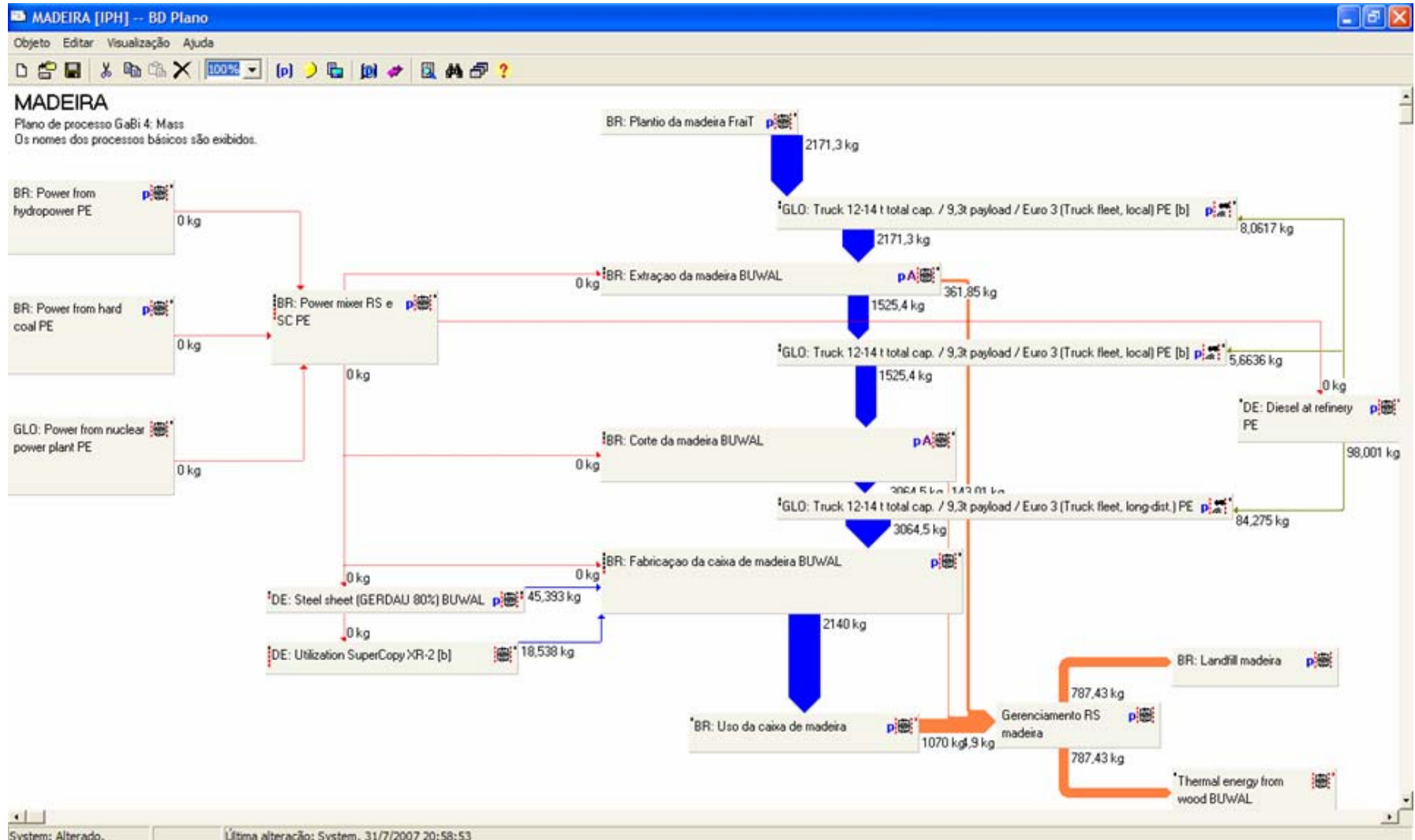


Figura 4.15 Representação do sistema de produto para o ciclo de vida madeira no *software GaBi*. Os fluxos mássicos estão representados em azul (insumos), verde (óleo diesel) e laranja (resíduos sólidos). Os fluxos energéticos (energia elétrica) estão representados em vermelho. Unidade: kg.

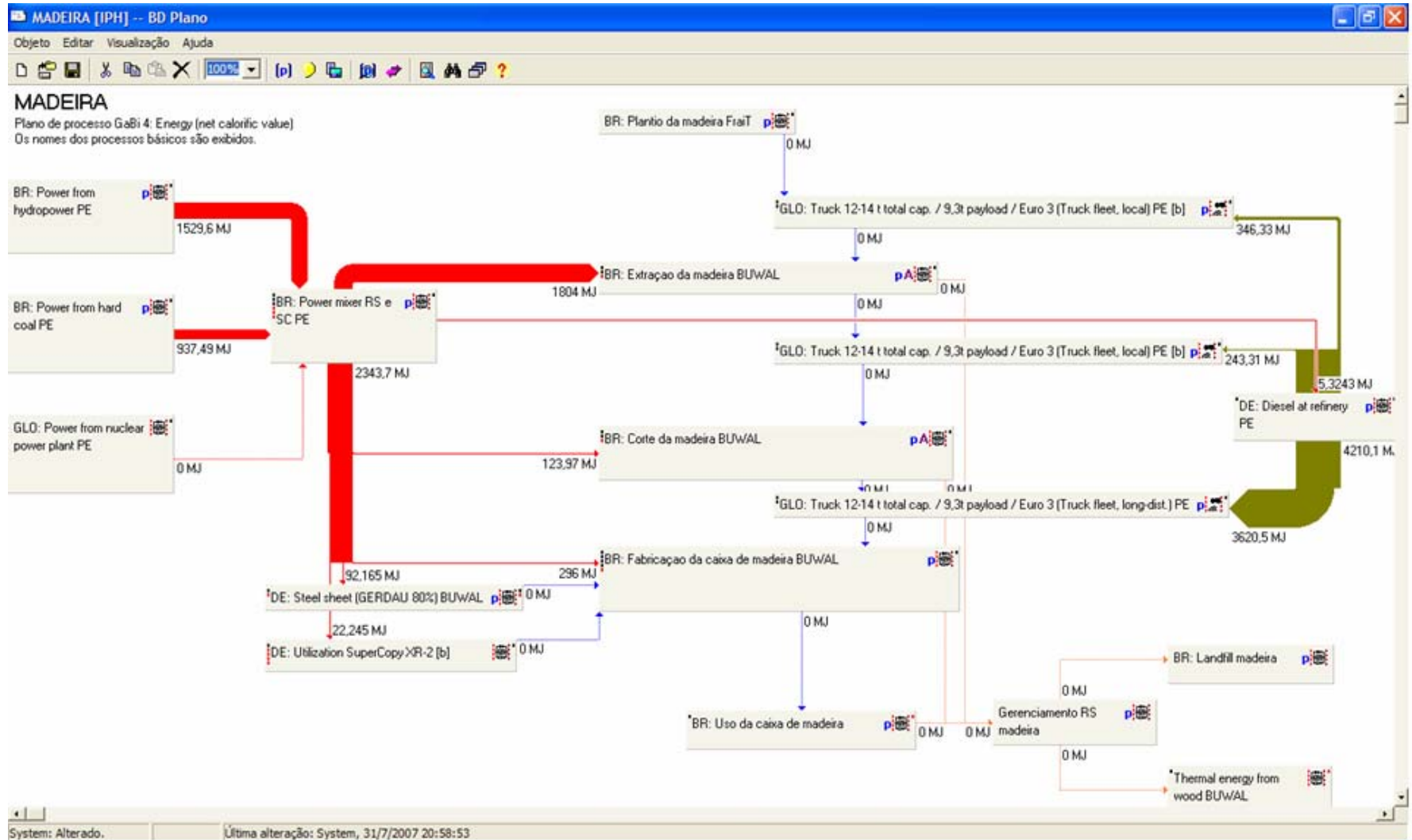


Figura 4.16 Representação do sistema de produto para o ciclo de vida madeira no *software GaBi*. Os fluxos energéticos estão representados em vermelho (energia elétrica) e verde (óleo diesel). Os fluxos mássicos estão representados em azul (insumos) e laranja (resíduos sólidos). Unidade: MJ.

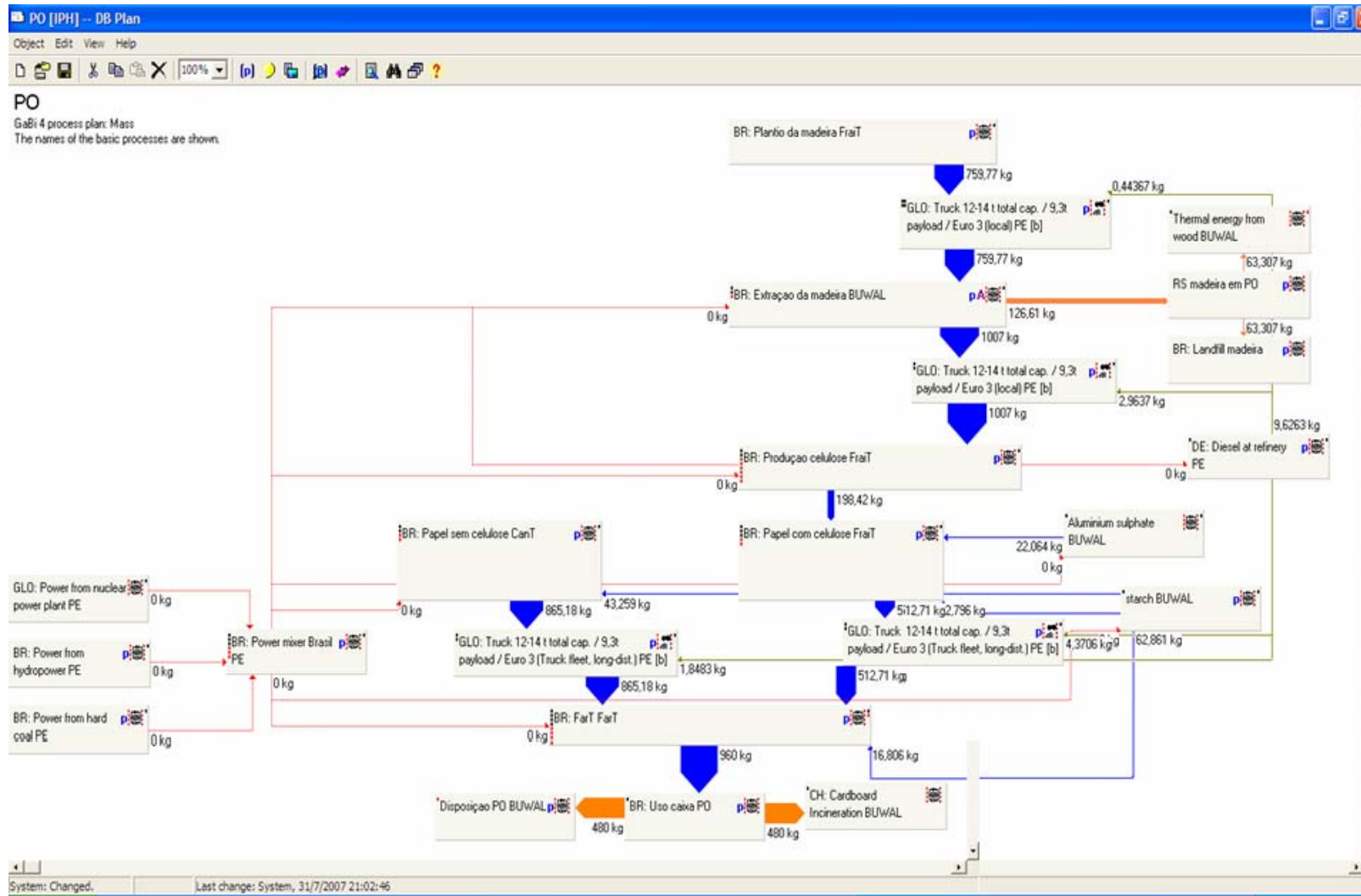


Figura 4.17 Representação do sistema de produto para o ciclo de vida PO no *software GaBi*. Os fluxos mássicos estão representados em azul (insumos), verde (óleo diesel) e laranja (resíduos sólidos). Os fluxos energéticos (energia elétrica) estão representados em vermelho. Unidade: kg.

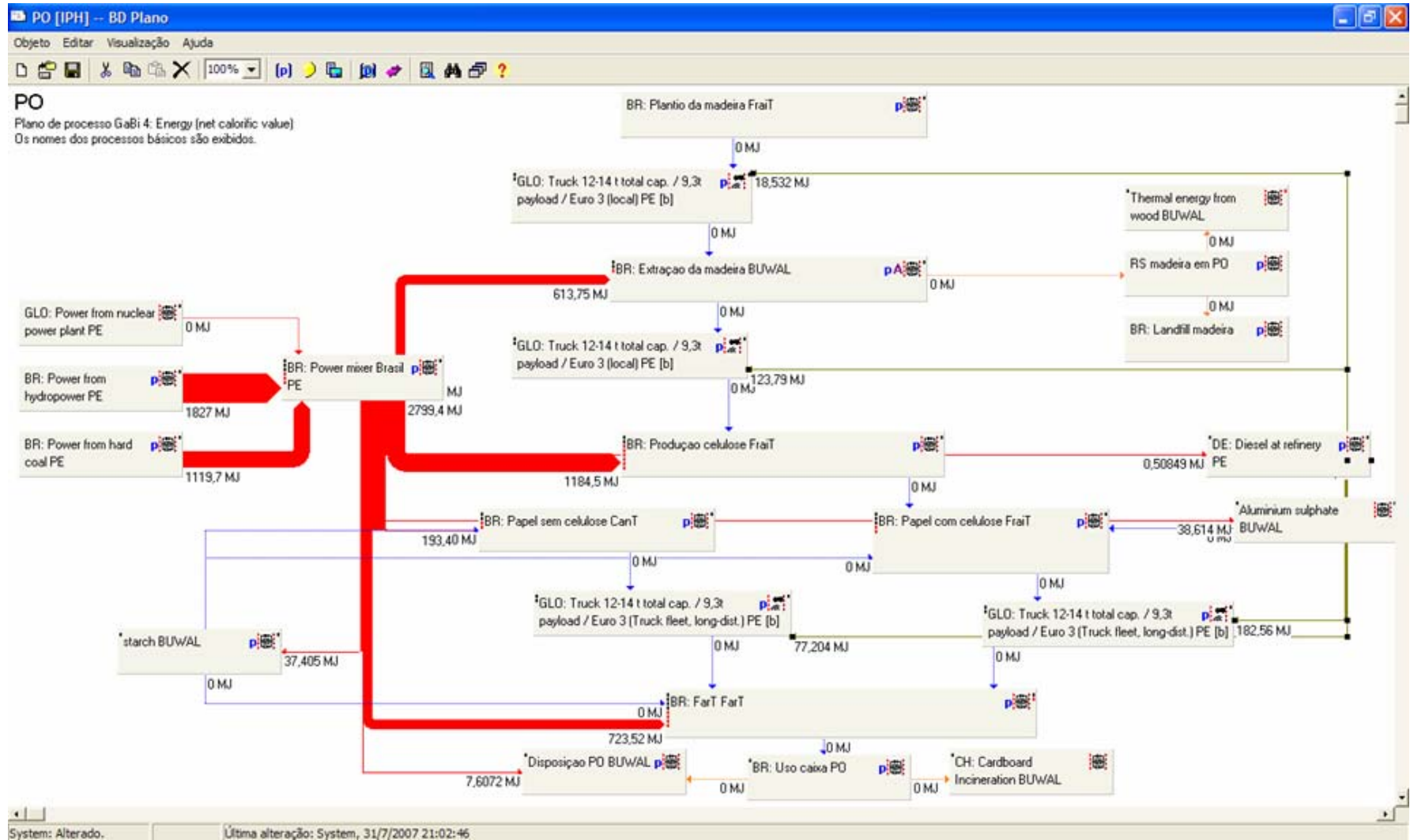


Figura 4.18 Representação do sistema de produto para o ciclo de vida madeira no *software GaBi*. Os fluxos energéticos estão representados em vermelho (energia elétrica) e verde (óleo diesel). Os fluxos mássicos estão representados em azul (insumos) e laranja (resíduos sólidos). Unidade: MJ.

A partir da montagem do plano para os dois ciclos de vida, é possível realizar os procedimentos de alocação nas unidades de processo. Outra forma é realizar a alocação depois de calculado o balanço. Nos planos das Figuras 4.15 a 4.18, foi realizada a alocação por massa e valor econômico nos processos indicados anteriormente: extração e corte da madeira. Estas unidades de processo estão indicadas pela letra “A”, na margem superior direita do retângulo que representa estes processos.

Após a inserção dos dados e dos procedimentos de alocação no *software*, bem como da definição da unidade funcional, é realizado o balanço, onde os dados são agregados e convertidos à unidade funcional (2000 caixas de frutas com capacidade de 6 kg).

Os resultados do inventário, para os dois cenários, são visualizados, a seguir, na Tabela 4.12, para entradas, e Tabela 4.13, para saídas.

Tabela 4.12 Dados de entrada do ICV. Valores em kg.

Compartimento	Fluxo	Madeira	PO
Recursos	Petróleo	121,64	19,45
	Carvão natural	136,57	145,56
	Cascalho	138,12	11,10
	Rocha inerte	857,86	1.023,22
	Agregado natural	8,07	9,77
	Água	11.755,35	14.390,89
	Ar (não especificado)	1.514,64	1.823,84
	CO ₂	3.930,16	1.375,24
	Madeira	-	992,12
	Minério de ferro	21,99	-
Substâncias de valor	Escória de acearia	44,32	-
	CaO	-	48,02
	Ác. Sulfúrico (100%)	-	11,03
	Fibras de papel reciclado	-	617,01
	Batatas	-	314,30

Tabela 4.13 Dados de saída do ICV. Valores em kg.

Compartimento		Fluxo	Madeira	PO
Resíduos sólidos		Resíduo sólido municipal	-	0,24
		Resíduo sólido de demolição	0,76	0,92
		Excedente de produção	854,27	1.019,73
		Resíduo têxtil contaminado	-	1,08
		Outros resíduos sólidos	4,17	4,79
Ecoinvent		CO ₂ biótico - ar	-	849,5
		Amônia - água	-	0,25
		COD - água	79,53	6,39
		COT - água	-	1,03
Solo		Carbono	-	0,7
		Óleo	0,49	0,14
Emissões atmosféricas	Inorgânicos	CO ₂	1.003,48	1.367,38
		CO	2,14	1,83
		HCl	0,09	0,12
		NO _x	4,46	3,62
		Vapor	511,75	614,2
	Orgânicos	SO ₂	6,62	8,9
		NMVOC	0,71	0,23
	Outros	CH ₄	2,96	1
		Exaustão	1.258,92	1.520,22
		Ar	0,7	0,81
		MP 2,5	0,55	0,59
Efluentes (meio aquático)	Análises	MP não especificado	0,08	0,11
		DBO	20,63	1,66
		DQO	87,97	9,67
		SDT	-	0,06
	Metais	COT	79,54	6,4
		FeO	-	0,02
	Inorgânicos	Zn	-	0,01
		Amônia	-	0,02
		Cl	1,93	1,96
		NO ₃ ⁻	-	0,85
		NO ₂ ⁻	-	0,04
		P	-	0,01
		K	-	0,04
	Orgânicos	Na	0,26	0,1
		SO ₄ ²⁻	0,16	4,12
Orgânicos	Hidrocarbonetos	0,02	0,01	
Partículas	SST	0,49	0,14	
Outros		Escória de acearia	3,5	0,38
		Plásticos	-	0,6
		Água (excedente)	11.254,20	13.711,00
		Proteína de batatas	-	2,14
		Químicos	0,17	-
		Poeira	0,56	-
		Subst. Inflamável	0,25	-

4.2.3 Checagem da qualidade dos dados

Após o cálculo do ICV no *software GaBi*, foi realizada a análise de incerteza destes dados, considerando a variância da amostra. Os coeficientes de variação foram calculados sempre que havia séries históricas disponíveis. Do contrário, foram utilizados os coeficientes de variação indicados por Weidema *et al.*(2003).

Os fluxos selecionados para a análise de incerteza e os coeficientes de variação obtidos podem ser visualizados na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 Análise de incerteza para os dois cenários. Unidade: kg.

Tipo de fluxo		Fluxos do ICV	Madeira			PO			
			Cenário Base	Incerteza		Cenário Base	Incerteza		
				Média	CV		Média	CV	
Entradas	Recursos	Água	11770	11771	2%	14392	14393	2%	
		Ar	1514,6	1514,6	0%	1823,8	1823,8	0%	
		CO ₂	3930,2	3930	2%	1375,2	1375	2%	
	Substâncias de valor	Batatas	-	-	-	314,3	314,31	1%	
		Fibras de papel	-	-	-	617,01	617,02	3%	
Saídas	Resíduos sólidos	Resíduo sólido de demolição	0,75981	0,75931	10%	0,92	0,92	10%	
		Excedente de produção	854,27	854,61	10%	1019,7	1020,8	10%	
	Ecoinvent	CO ₂ biótico - ar	-	-	-	849,5	849,07	20%	
	Ar	A. Inorgânicos							
		CO ₂	1025,3	1024,9	4%	1369,1	1365,5	7%	
		CO	2,143	2,1425	8%	1,83	1,83	11%	
		Nox	4,4611	4,4596	3%	3,62	3,61	7%	
		SO ₂	6,6209	6,6376	9%	8,9	8,89	9%	
		B. Orgânicos							
		CH ₄	4,7819	4,7819	0%	1,14	1,14	0%	
		C. Outros							
		Exaustão	1258,9	1257,2	10%	1520,2	1519,2	10%	
		Vapor	511,75	510,66	10%	614,2	613,92	10%	
		Água	A. Análises						
			DBO	41,27	41,23	20%	3,32	3,31	20%
			COD	0	0	0%	0	0	0%
	DQO		175,38	174,54	20%	16,69	16,7	17%	
	COT		159,07	159,43	20%	12,79	12,8	20%	
	B. Inorgânicos								
	Cloro		1,93	1,93	10%	1,96	1,96	11%	
	Sódio		0,26	0,26	14%	0,1	0,1	14%	
	SO ₄ ²⁻		0,16	0,16	9%	4,11	4,11	7%	
	C. Partículas								
SST	0,49		0,49	16%	0,14	0,14	8%		
Outros	Proteína de batatas	-	-	-	2,14	2,14	2%		
	Água	11254	11306	20%	13711	13724	20%		

A análise de incerteza foi realizada através da simulação de Monte Carlo, conforme metodologia descrita no capítulo 3 (Huijbregts *et al.*, 2003; Maurice *et al.*, 2000 e Sonnemann *et al.* 2003).

Os resultados da análise de incerteza evidenciam uma incerteza baixa (menor que 10%) para a maioria dos parâmetros. Valores de elevada incerteza estão especialmente relacionados a emissões aos corpos d'água e de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera.

4.3 Análise de Impacto

Depois de concluído o ICV, foi realizada a análise de impacto de ciclo de vida, a partir dos dados de inventário.

Em trabalho realizado anteriormente pelo grupo de gestão ambiental do IPH/UFRGS (Passuello e Cybis, 2007a), três metodologias de AICV foram comparadas: CML 2, EDIP 2003 e EI 99. Os resultados do trabalho demonstraram que apenas a metodologia CML 2 contempla as emissões ao solo e aos corpos d'água deste estudo de caso e que a aplicação destas ferramentas à realidade brasileira é bastante restrita. Por isso, optou-se por utilizar neste estudo uma ferramenta que abrangesse de forma mais satisfatória os compartimentos ar, água e solo. A ferramenta selecionada foi a IMPACT 2002+ (Humbert, 2005), ou I02+, no nível de caracterização e dano normalizado.

4.3.1 Cálculo dos indicadores das categorias de impacto

Os resultados da caracterização foram calculados considerando os resultados (Tabelas 4.13 e 4.14) e a incerteza estimada no inventário (Tabela 4.14). Por isso, foram gerados três resultados: o cenário-base, que não considera a incerteza, apenas os resultados da compilação do inventário; a média e o coeficiente de variação (CV) provenientes da simulação de Monte Carlo. Estes resultados podem ser visualizados na Tabela 4.15.

Os coeficientes de variação menores que 1% não foram considerados para efeito de comparabilidade dos resultados. As cinco categorias com CV maior que 1% estão destacadas em negrito na Tabela 4.15. A comparação entre os cenários, considerando o CV, será efetuada posteriormente.

Tabela 4.15 Escores de caracterização pela metodologia IMPACT 2002+.

Categoria de Impacto de Caracterização	Unidade	madeira			PO		
		Cenário Base	Média	CV (%)	Cenário Base	Média	CV (%)
Extração de minerais	MJ	0,64	0,64	0%	7,49E-03	7,49E-03	0%
Recursos Energ Não-Renováveis	MJ	8859,40	8859,40	0%	3896,50	3896,50	0%
Acidificação - água	kg SO₂ - Eq. ar	6,73	6,74	9%	9,03	9,03	9%
Ecotoxicidade - água	kg TEG-Eq. água	11136,00	11136,00	0%	37699,00	37699,00	0%
Eutrofização - água	kg PO ₄ ³⁻ - Eq. água	3,60E-03	3,60E-03	0%	0,05	0,05	0%
Carcinogênicos	kg C ₂ H ₃ Cl - Eq. ar	0,26	0,26	0%	1,04	1,04	0%
Mudanças climáticas 500 anos	kg CO₂ - Eq. ar	1063,60	1063,30	4%	1380,80	1377,20	7%
Radiação ionizante	Bq C-14 - Eq. ar	88,00	88,00	0%	22,57	22,57	0%
Não-carcinogênicos	kg C ₂ H ₃ Cl - Eq. ar	2,95	2,95	0%	12,33	12,33	0%
Depleção do ozônio estratosférico	kg CFC-11 - Eq. ar	6,54E-05	6,54E-05	0%	2,51E-05	2,51E-05	0%
Oxidação fotoquímica	kg C₂H₄ - Eq. ar	0,53	0,53	0%	0,18	0,18	3%
Efeitos respiratórios	kg PM_{2.5} - Eq. ar	1,72	1,72	3%	1,81	1,81	4%
Acidificação/ nutricaoção - terra	kg SO₂ - Eq. ar	31,17	31,18	3%	28,84	28,80	6%
Ecotoxicidade - terra	kg TEG -Eq. Solo	1598,10	1598,10	0%	2361,90	2361,90	0%

Confrontando-se os resultados dos dois cenários, considerando-se o cenário madeira como cenário base e seus impactos iguais a 100%; obtêm-se os resultados relacionados a cada uma das categorias de dano, visualizados nas Figuras 4.19 a 4.22.

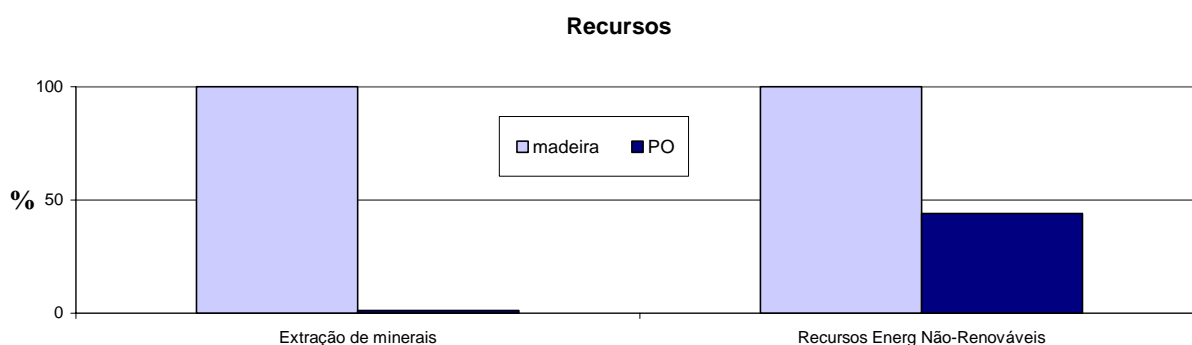


Figura 4.19 Comparação dos cenários para as categorias de caracterização relacionadas a depleção dos recursos naturais.

Os resultados demonstram que para os impactos relacionados à depleção dos recursos naturais (Figura 4.19), o cenário PO é mais interessante ambientalmente que o cenário madeira, utilizando 56% menos recursos energéticos não renováveis e 98% menos minerais.

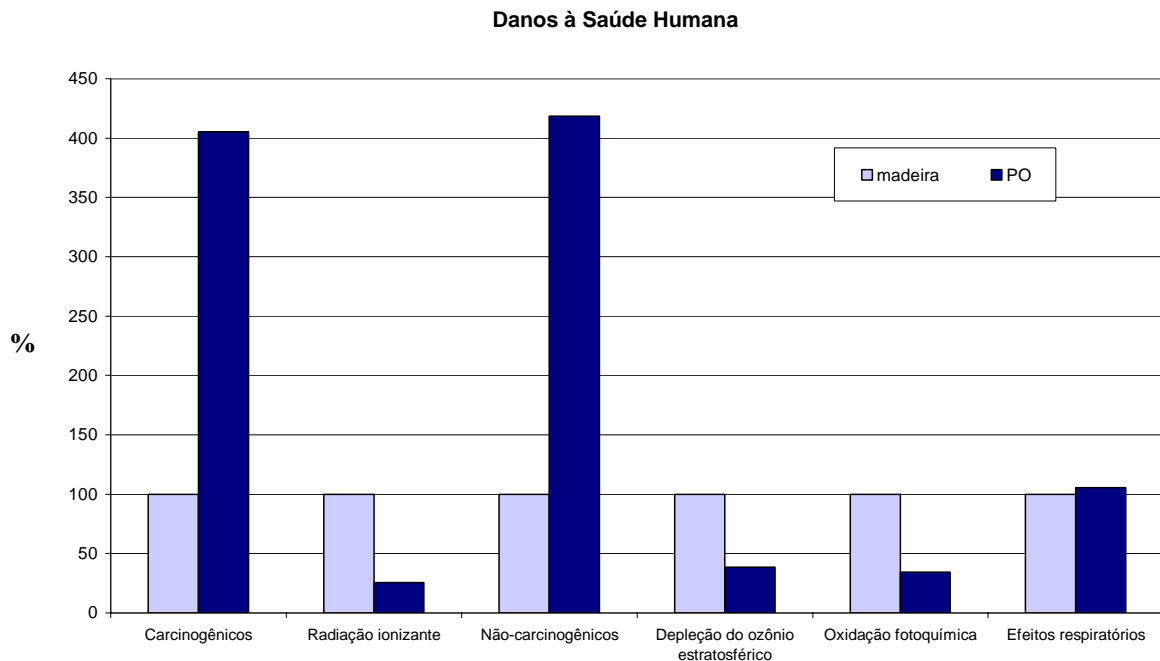


Figura 4.20 Comparação dos cenários para as categorias de caracterização relacionadas a danos à saúde humana.

Para danos à saúde humana (Figura 4.20), percebe-se elevada contribuição de impactos de carcinogênicos e não carcinogênicos no cenário PO, mais de quatro vezes maiores que no cenário madeira. Por outro lado, os impactos relativos a radiação ionizante, depleção do ozônio estratosférico e oxidação fotoquímica para o cenário PO representam, respectivamente, 26%, 38% e 35% dos valores encontrados no cenário madeira. Para efeitos respiratórios a diferença foi de apenas 5%.

Para mudanças climáticas (Figura 4.21), o cenário PO possui impacto 30% maior que o cenário madeira.

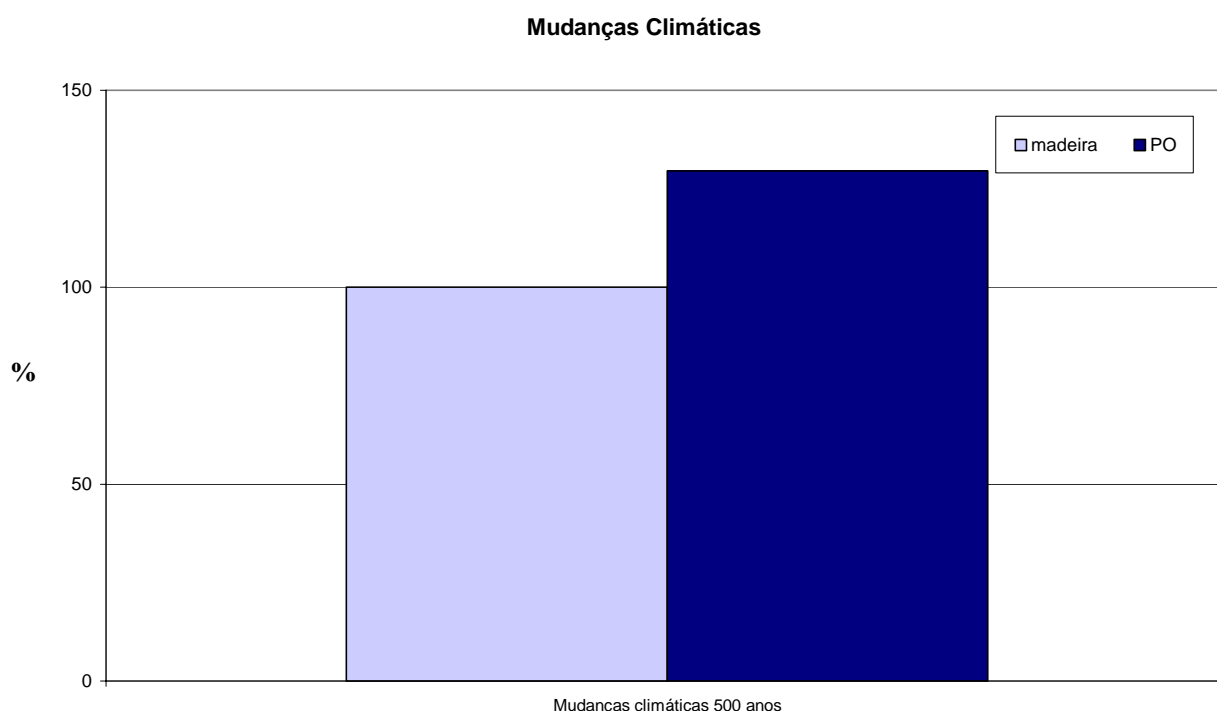


Figura 4.21 Comparação dos cenários para a categoria de mudanças climáticas.

Entretanto, cabe destacar que, ao contrário de outras ferramentas de AICV, a I02+ não considera o CO₂ absorvido da atmosfera nos dois ciclos de vida. A Tabela 4.16 mostra a comparação dos dois cenários para absorção pelas árvores e emissão de equivalentes de CO₂.

Tabela 4.16 Entradas e saídas de CO₂ do ciclo de vida.

Unidade: kg CO ₂ eq	CO ₂ absorvido		CO ₂ eq emitido	
	Média	CV (%)	Média	CV(%)
Madeira	3.930	2%	1.063	4%
PO	1.375	2%	1.377	7%

Conforme se observa na Tabela 4.16, se fosse considerado o CO₂ absorvido no ciclo de vida das embalagens, o cenário PO teria impacto nulo para esta categoria, uma vez que o valor de entrada de CO₂ (absorção) é praticamente igual ao emitido. O cenário madeira teria impacto positivo para este dano, pois a absorção é superior à emissão. Porém, este CO₂ absorvido e não emitido, seria exportado para outro ciclo de vida na forma de subprodutos e/ou resíduos sólidos.

Para danos à qualidade do ecossistema (Figura 4.22), o cenário madeira é de modo geral mais interessante que o PO, exceto para acidificação/nutrição do solo, onde a diferença entre os dois cenários é de apenas 8%. Salienta-se que a maior diferença de impactos entre os cenários para toda a análise ocorre na eutrofização dos corpos d'água,

problema ambiental bastante pronunciado na região em estudo, e que é mais de 15 vezes maior no cenário PO que no madeira.

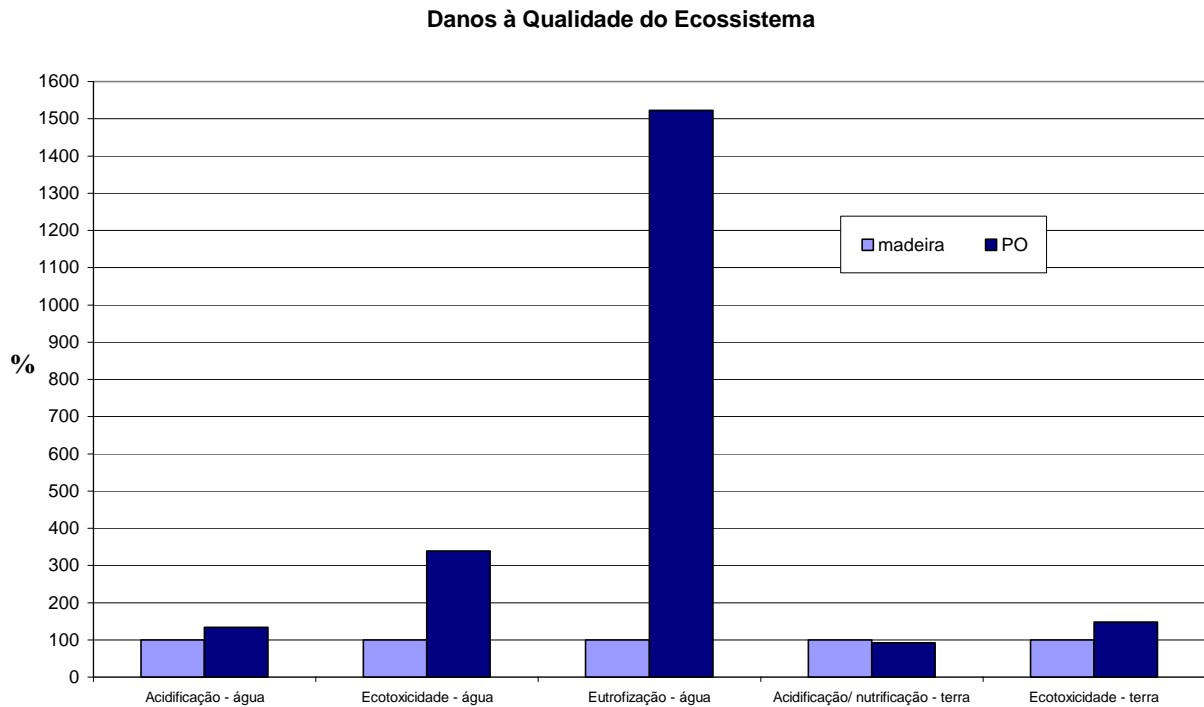


Figura 4.22 Comparação dos cenários para as categorias de caracterização relacionadas a danos à qualidade do ecossistema.

Para os impactos com valores de coeficiente de variação superior a 1%, foi calculada a sua distribuição de probabilidade, considerando o nível de confiança $(1 - \alpha)$ de 95%, conforme Figuras 4.23 a 4.25.

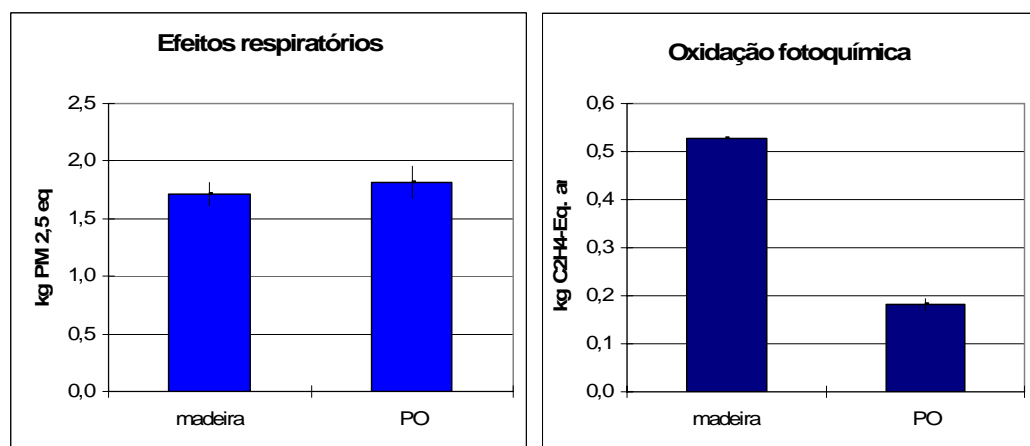


Figura 4.23 Valor médio e intervalo de confiança ($\alpha=0,05$) para as categorias de efeitos respiratórios e oxidação fotoquímica.

Dentre estas duas categorias relacionadas a danos à saúde humana pode-se afirmar que, no nível de confiança de 95%, não existem diferenças significativas para a categoria de efeitos respiratórios; enquanto o cenário PO é favorável em relação à oxidação fotoquímica.

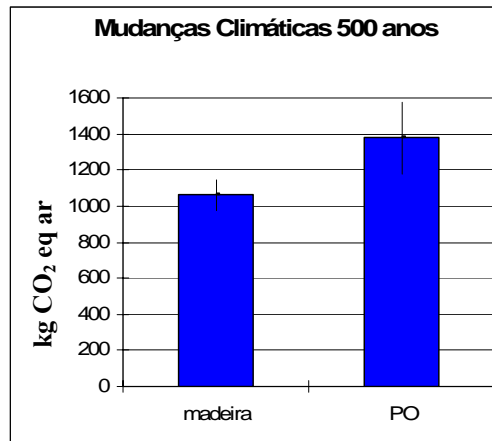


Figura 4.24 Valor médio e intervalo de confiança ($\alpha=0,05$) para a categoria mudanças climáticas.

Para a categoria de mudanças climáticas, é possível admitir, com significância (α) de 0,05, que o cenário madeira é vantajoso em relação ao cenário PO.

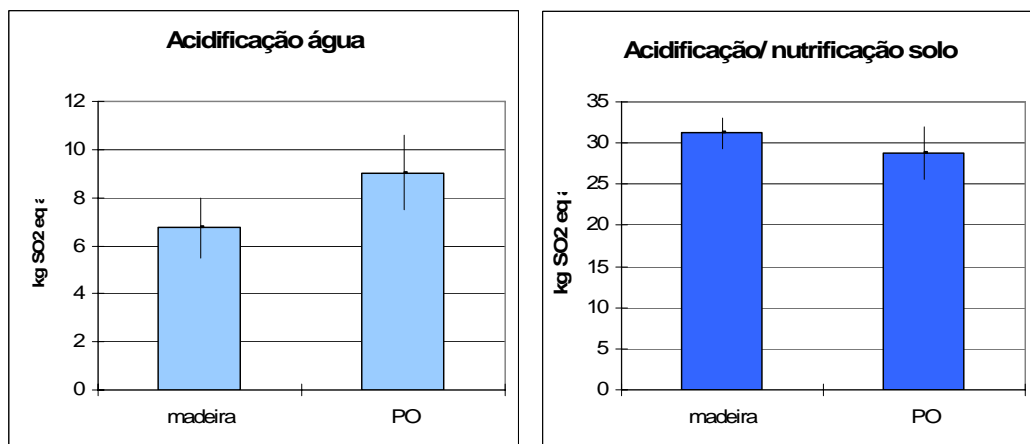


Figura 4.25 Valor médio e intervalo de confiança ($\alpha=0,05$) para as categorias acidificação nos corpos d'água e acidificação e nutrição no solo.

Nas categorias relacionadas à qualidade do ecossistema, admite-se que não existem diferenças significativas nas categorias acidificação nos corpos d'água e acidificação e nutrição no solo para os dois cenários, no intervalo de confiança de 95%.

Os resultados de caracterização apontam, para os cenários avaliados, vantagens ambientais relacionadas a determinadas categorias. Percebe-se, claramente, que o cenário PO é mais vantajoso para danos relacionados à depleção de recursos. Já para mudanças climáticas e qualidade do ecossistema, o cenário madeira é ambientalmente melhor. Porém, apenas a partir destes resultados, não é possível apontar qual o cenário mais vantajoso no quesito ambiental. Por isso, foi realizada a normalização no nível de dano, elemento opcional da ACV.

4.3.2 Determinação dos elementos opcionais

Foi realizada a análise de dano normalizado, para cada uma das categorias de dano, a fim de se obter maior comparabilidade dos resultados. Os resultados, expressos em *pessoa.ano*, podem ser visualizados na Tabela 4.17.

Tabela 4.17 Resultados de dano normalizado. Unidade: *pessoa.ano*.

Dano	Categoria de Impacto de Caracterização	madeira	PO
Recursos	Extração de minerais	4,22E-06	4,92E-08
	Recursos Energéticos Não-Renováveis	5,83E-02	2,56E-02
Qualidade do Ecossistema	Acidificação - água	-	-
	Ecotoxicidade - água	4,08E-05	1,38E-04
	Eutrofização - água	-	-
	Acidificação/ nutriificação - terra	2,37E-03	2,19E-03
	Ecotoxicidade - terra	9,23E-04	1,36E-03
Saúde Humana	Carcinogênese	1,02E-04	4,12E-04
	Radiação ionizante	2,60E-06	6,67E-07
	Não-carcinogênicos	1,16E-03	4,86E-03
	Depleção do ozônio estratosférico	9,68E-06	3,71E-06
	Oxidação fotoquímica	1,58E-04	5,43E-05
	Efeitos respiratórios	1,69E-01	1,79E-01
Mudanças Climáticas	Mudanças climáticas 500 anos	1,07E-01	1,38E-01

A ferramenta não possui, atualmente, valores para o cálculo do dano das categorias de acidificação e eutrofização dos corpos d'água, por utilizar metodologia diferenciada para o cálculo destas categorias. Deste modo, não foi possível efetuar sua análise no nível de dano.

Os resultados obtidos foram representados graficamente, para visualizar a contribuição de cada uma das categorias de caracterização nas quatro categorias de dano.

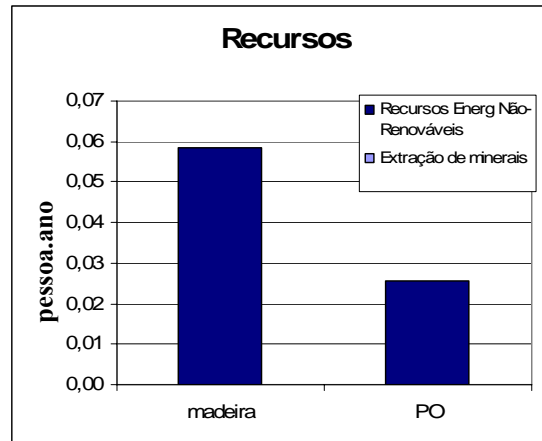


Figura 4.26 Contribuição das categorias de caracterização para as categorias de dano aos recursos. Unidade: pessoa.ano.

Para recursos (Figura 4.26), percebe-se claramente que a utilização de recursos energéticos não-renováveis para os dois cenários provoca muito mais dano que a extração de minerais. Este fato já é evidente na Tabela 4.15, onde os valores de utilização de recursos energéticos não-renováveis são bastante superiores ao de extração de minerais. Esta comparação é possível, pois as duas categorias possuem a mesma unidade (MJ) no nível de caracterização.

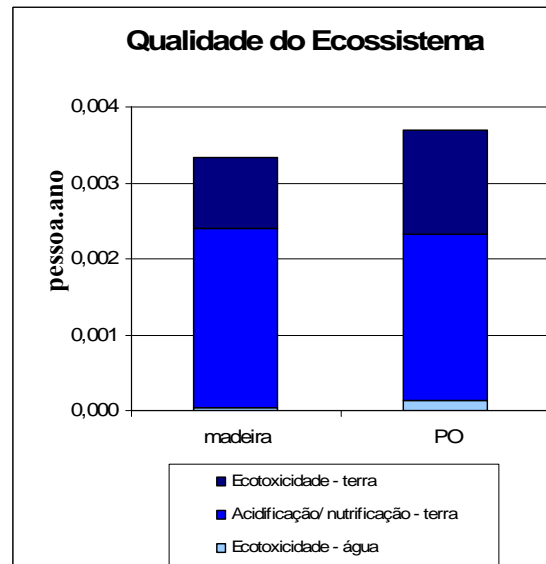


Figura 4.27 Contribuição das categorias de caracterização para as categorias de dano à qualidade do ecossistema. Unidade: pessoa.ano.

Para qualidade do ecossistema (Figura 4.27), é evidente a maior participação das categorias de acidificação/nutrição e ecotoxicidade no solo. Cabe salientar que a categoria de eutrofização dos corpos d'água, que apresentou elevada diferença entre os dois cenários na caracterização, não está representada no nível de dano, não sendo possível estimar o que esta categoria representaria numa comparação como a da figura acima.

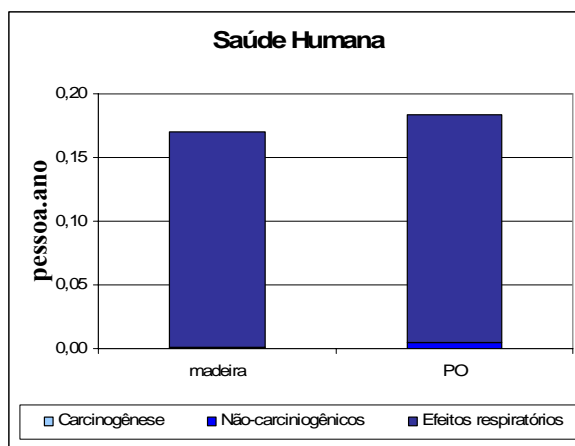


Figura 4.28 Contribuição das categorias de caracterização para as categoria de dano à saúde humana. Unidade: pessoa.ano.

Para danos a saúde humana, a categoria que possui maior contribuição é a de efeitos respiratórios, que possui valores similares para os dois cenários. O que leva o cenário PO a ter maior escore para esta categoria de dano é a emissão de elementos não-carcinogênicos. As demais categorias relacionadas à saúde humana possuem contribuição muito baixa, conforme se pode observar na Tabela 4.17, não sendo possível sua representação no gráfico da Figura 4.28.

Os escores de dano obtidos podem ser visualizados conjuntamente na Figura 4.29. Estes escores não podem ser somados uma vez que não foi realizada a sua atribuição de pesos. Dependendo do peso atribuído a cada uma das categorias é possível estimar qual das embalagens é mais vantajosa, considerando-se o escopo deste estudo.

Por outro lado, é possível observar na Figura 4.29 que a caixa de madeira possui maior dano para recursos enquanto a de PO tem maiores danos à saúde humana e de mudanças climáticas.

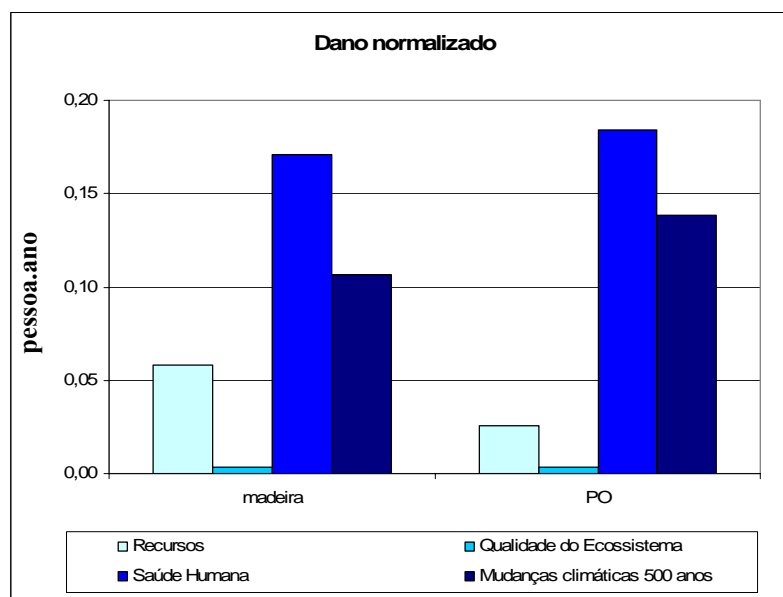


Figura 4.29 Escores normalizados para cada categoria de dano. Unidade: pessoa.ano.

A partir dos escores normalizados para cada categoria de dano é possível construir o diagrama triangular, uma representação gráfica que permite estimar qual o melhor produto conforme os pesos atribuídos às categorias de dano. De acordo com a incerteza observada nas categorias de caracterização (Tabela 4.15), foi decidido que se utilizaria valor de incerteza de 5% para esta comparação.

Conforme descrito em Humbert *et al.* (2005), para a composição do diagrama triangular considera-se as categorias de danos à saúde humana e mudanças climáticas como uma única categoria, que representa o somatório das duas. Deste modo, os escores utilizados na confecção do triângulo estão descritos na Tabela 4.18.

Tabela 4.18 Escores de dano utilizados na composição do diagrama triangular. Valores em pessoa.ano.

Dano	Madeira	PO
Saúde Humana	0,278	0,322
Qualidade do Ecossistema	3,33E-03	3,69E-03
Recursos	5,83E-02	2,56E-02

A partir destes escores foi estruturado o diagrama triangular, conforme a Figura 4.30.

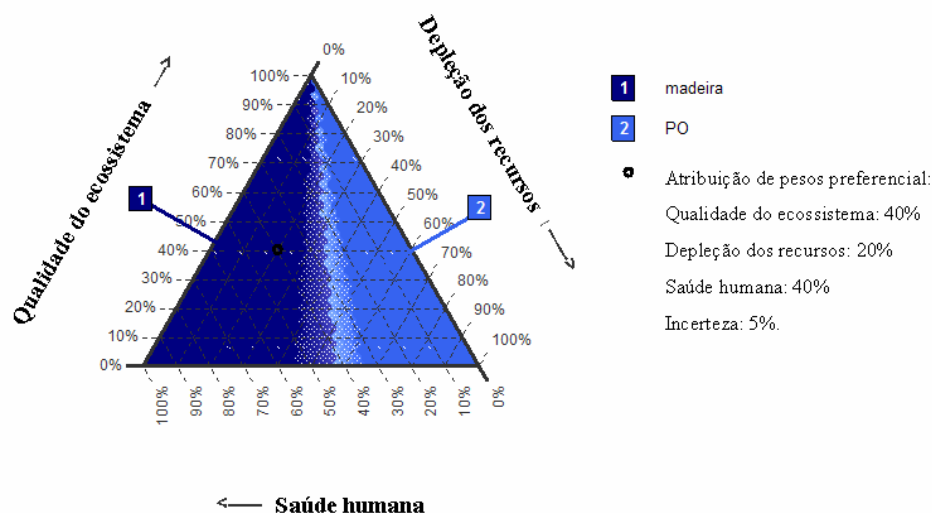


Figura 4.30 Diagrama triangular da ACV em estudo.

O ponto em destaque no gráfico da Figura 4.30 é denominado atribuição de pesos preferencial, correspondente aos pesos da ponderação padrão do método Eco-Indicator (ponderação A ou ponderação média). Para este ponto, o cenário madeira é melhor ambientalmente que o cenário PO.

Cabe salientar que a atribuição de pesos de acordo com o estabelecido em EI99 é apenas um exemplo e que o tomador de decisão pode optar livremente por que escores utilizar para realizar a comparação. Destaca-se, ainda, que o cenário PO será vantajoso apenas se na atribuição de pesos forem considerados baixos escores para danos à saúde humana e elevados escores para a depleção dos recursos, conforme seria possível prever a partir dos resultados visualizados na Figura 4.29.

4.4 Interpretação dos Resultados da ACV

Este item será desenvolvido de acordo com as etapas descritas em ISO (ISO, 2006b), conforme segue:

4.4.1 Identificação dos itens mais significativos:

De acordo com os resultados de inventário obtidos, os insumos mais relevantes, para os dois cenários são: água, ar e dióxido de carbono (CO₂). O CO₂ absorvido nos dois ciclos de vida é consumido no crescimento das árvores. Já o ar é utilizado quase que em sua totalidade pelas usinas termelétricas. A água é empregada na produção energética em termoelétrica.

Com relação ao consumo energético, dentre os recursos energéticos não renováveis, destaca-se o uso de carvão natural e petróleo. Para o carvão natural, 87% da quantidade

consumida no cenário madeira e 100% do consumido no cenário PO são destinados à produção de energia elétrica. Este mesmo combustível é empregado, no cenário madeira, na produção do aço. O petróleo é usado quase que em sua totalidade na produção de diesel (89% para madeira, 55% para PO). O restante é consumido na termoelétrica e na extração da madeira.

Nas saídas, mais de 50% das emissões de dióxido de carbono são devidas à produção energética, para o cenário PO. A maior parte do montante restante é liberada na fabricação dos dois tipos de papel (38% da emissão total). Para a madeira, 57% das emissões de CO₂ são devidas à produção energética, seguida pelo uso do modal caminhão, com 30% das emissões deste gás. É possível, ainda, destacar como emissões atmosféricas impactantes ao ambiente, para os dois cenários: CO, HCl, NO_x, SO₂, CH₄ e particulados.

A maior carga de emissões aos corpos d'água ocorre no cenário madeira. Os elevados valores de DQO se originam da disposição da madeira em aterro (mais de 99% no cenário madeira e 73% no cenário PO). Para cenário PO, existe ainda a participação dos processos de produção de celulose (20%) e da produção energética na termoelétrica (7%). Quanto à emissão de inorgânicos, 39% da carga se origina da produção de diesel, 31% na termoelétrica e 24% na extração da madeira, para o cenário madeira, e 44% na disposição final das caixas, 39% na planta integrada de celulose e papel e 13% na termoelétrica, para o cenário PO.

Dos orgânicos liberados aos corpos d'água, para o cenário PO, 39% são devidos à extração da madeira, 27% da planta integrada de celulose e papel e 29% da disposição final das caixas. Para o cenário madeira, 74% têm origem na extração da madeira, 12% na fabricação das caixas e 5% no corte da madeira, além de 7% oriundos da produção do diesel.

As emissões ao solo de maior volume são de óleos e ocorrem na extração e corte da madeira, para os dois cenários, e na disposição das caixas de PO, representando 13% desta emissão para o cenário PO. Dentre as entradas e saídas mais relevantes do inventário, as de maior variabilidade foram selecionadas para a realização da análise de incerteza.

As Tabelas 4.20 e 4.21 descrevem a participação de cada unidade de processo nos valores de impacto de caracterização. Como se pode observar nestas tabelas, apesar de ser responsável por apenas 32% da energia elétrica produzida, a usina termoelétrica é a maior responsável pelos impactos associados aos dois ciclos de vida e, conseqüentemente, pela incerteza nos resultados. Dentre as unidades de processo que colaboraram de forma significativa para os impactos relacionados aos dois ciclos de vida em estudo, destaca-se para o cenário madeira (Tabela 4.19):

- Produção de energia na termoelétrica: contribuindo com 95% do escore de acidificação nos corpos d'água, 74% dos carcinogênicos, 69% da ecotoxicidade no solo, 67% efeitos respiratórios e 62% não-carcinogênicos.
- Produção de grampos: nesta etapa são extraídos com 99% dos recursos minerais demandados pelo cenário madeira;
- Produção de diesel, responsável por 86% do escore da radiação ionizante e 85% da eutrofização aos corpos d'água;
- Extração da madeira, responsável por 78% dos valores de depleção do ozônio estratosférico, 58% da oxidação fotoquímica e 55% da ecotoxicidade aos corpos d'água;
- Utilização do modal caminhão, responsável por 50% dos impactos de acidificação e nutrição do solo.

Por outro lado, para o cenário PO (Tabela 4.20), cabe salientar:

- Produção de energia na termoelétrica: com 87% da contribuição em acidificação dos corpos d'água, 77% em efeitos respiratórios, 75% dos recursos energéticos não renováveis e 52% para as categorias de acidificação/nutrição e ecotoxicidade no solo.
- Produção de energia em hidrelétrica, responsável por 80% da extração de minerais do cenário, demandados para a construção da usina;
- Disposição do PO, com 78% das emissões de não-carcinogênicos, 74% de carcinogênicos e 50% da ecotoxicidade aquática;
- Produção integrada de celulose e papel, com 75% do escore de eutrofização aos corpos d'água;
- Extração da madeira, com 71% da depleção do ozônio estratosférico e 58% da oxidação fotoquímica.

Tabela 4.19 Contribuição das unidades de processo nas categorias de caracterização para o cenário madeira. Valores em percentual.

Categoria de Caracterização	Corte da madeira	Extração da madeira	Fabricação da caixa de madeira	Disposição em aterro - madeira	Plantio da madeira	Termo-elétrica	Hidro-elétrica	Prod de Diesel	Prod de grampos	Caminhão	Total
Acidificação água	0	1	0	0	0	95	0	3	1	0	100
Ecotoxicidade água	4	55	9	1	0	10	0	11	10	0	100
Eutrofização água	1	11	2	0	0	1	0	85	1	0	100
Carcinogênicos	0	1	0	0	0	74	12	13	0	0	100
Mudanças climáticas	0	3	1	3	0	30	26	3	3	30	100
Radiação ionizante	0	0	0	0	0	8	6	86	0	0	100
Não-carcinogênicos	1	15	2	1	0	62	5	12	0	1	100
Depleção do ozônio estratosférico	5	78	13	0	0	0	0	1	3	0	100
Oxidação fotoquímica	4	58	9	2	0	6	0	3	1	17	100
Efeitos respiratórios	0	5	1	0	0	67	0	1	1	25	100
Acidificação/nutrição terra	0	7	1	0	0	39	0	2	1	50	100
Ecotoxicidade terra	0	7	1	10	1	69	2	7	3	0	100
Extração de minerais	0	0	0	0	0	0	1	1	99	0	100
Recursos energéticos não-renováveis	0	6	1	0	0	27	0	59	8	0	100

Tabela 4.20 Contribuição das unidades de processo nas categorias de caracterização para o cenário PO. Valores em percentual.

Categoria de Caracterização	Extração da madeira	Produção de Caixa de PO	Papel Kraft	Papel reciclado	Termo-elétrica	Hidro-elétrica	Produção de celulose	Produção de Diesel	Disposição PO	Caminhão	Produção de amido	Total
Acidificação água	0	3	3	0	87	0	0	0	6	0	0	100
Ecotoxicidade água	6	0	0	0	4	0	40	0	50	0	0	100
Eutrofização água	0	2	0	0	0	0	75	1	22	0	0	100
Carcinogênicos	0	0	0	0	22	4	0	0	74	0	0	100
Mudanças climáticas	1	7	8	30	28	24	0	0	1	2	0	100
Radiação ionizante	0	0	0	0	39	28	0	33	0	0	0	100
Não-carcinogênicos	1	0	0	0	18	2	1	0	78	0	0	100
Depleção do ozônio estratosférico	71	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	100
Oxidação fotoquímica	58	0	0	0	20	0	0	1	16	4	0	100
Efeitos respiratórios	2	4	6	5	77	0	0	0	3	2	0	100
Acidificação/nutrição terra	3	8	14	14	52	0	0	0	4	5	0	100
Ecotoxicidade terra	2	0	0	0	52	2	0	0	44	0	0	100
Extração de minerais	0	0	0	0	16	80	0	5	0	0	0	100
Recursos energéticos não-renováveis	4	2	0	0	75	0	0	13	3	0	2	100

A participação de cada um dos compartimentos (ar, água, solo) nos resultados de caracterização, bem como as planilhas de cálculo da ferramenta (Humbert, 2005), permitem concluir que os danos de maior magnitude estão relacionados a emissões atmosféricas, conforme se observa na Tabela 4.21.

Tabela 4.21 Contribuição dos compartimentos ar, água e solo nos escores de caracterização. Valores em percentual.

Categoria de Caracterização	Madeira			PO		
	ar	água	solo	ar	água	solo
Acidificação água	100	-	-	100	-	-
Ecotoxicidade água	6	93	1	2	97	1
Eutrofização água	-	16	84	-	89	11
Carcinogênicos	88	12	-	44	56	-
Mudanças climáticas	100	-	-	100	-	-
Radiação ionizante	70	30	-	70	30	-
Não-carcinogênicos	70	27	3	28	65	7
Depleção do ozônio estratosférico	100	-	-	100	-	-
Oxidação fotoquímica	100	-	-	100	-	-
Efeitos respiratórios	100	-	-	100	-	-
Acidificação/nutrição terra	100	-	-	100	-	-
Ecotoxicidade terra	77	-	23	62	-	38

Ao se aplicar esta ferramenta à realidade brasileira, algumas ressalvas podem ser feitas. Com relação às emissões em corpos d'água ou ao solo, cabe salientar que a ferramenta I02+ foi desenvolvida no leste europeu, em realidade bastante diversa à brasileira. Por isso, ao se aplicar a ferramenta no Brasil, que possui economia muito vinculada à agricultura, deve-se considerar uma maior dependência relacionada ao uso do solo, o que acarretaria em maior valoração dos danos à qualidade do ecossistema. Além disso, diversas regiões em nosso país apresentam problemas relacionados aos corpos d'água, como a seca e/ou a poluição dos mananciais. Apenas com o desenvolvimento de uma ferramenta baseada em modelos nacionais será possível avaliar se os resultados obtidos são consistentes com a realidade do estudo.

4.4.2 Checagens de integridade, sensibilidade e consistência

O *software GaBi* realiza uma análise de integridade baseada na descrição de qualidade dos dados fornecida ao se inseri-los em cada processo, de acordo com a seguinte classificação:

- Todos os fluxos capturados;
- Todos os fluxos relevantes capturados;
- Alguns dos fluxos relevantes capturados;

- Alguns dos fluxos relevantes não capturados;
- Sem informação sobre a qualidade dos dados.

Para a presente ACV todos os fluxos relevantes foram capturados, tanto nos dados inseridos como nos obtidos no banco de dados do *software*. Ainda, com relação ao tipo de dado utilizado, para o cenário madeira, 42% dos dados são primários e 58% são retirados da literatura. Para o PO os valores são similares: 41% de dados primários e 59% de dados secundários.

Estes resultados são devidos ao fato de se utilizar dados de literatura para os processos relacionados a transporte e energia, bem como por não haver disponibilidade de medição das emissões atmosféricas *in loco*. Por outro lado, cabe salientar que houve uma preocupação no decorrer do estudo de se obter uma qualidade de dados similar para os dois cenários. Por isso, intencionalmente foram utilizados os mesmos bancos de dados para processos similares nos dois ciclos de vida, como as emissões relacionadas ao corte da madeira, por exemplo. Deste modo, o mesmo critério foi utilizado para os dois cenários, com uma unificação nas unidades de medida dos dados.

Além da análise de integridade, foi realizada a análise de incerteza, conforme relatado nos itens 4.2 e 4.3, relativos à ACV e AICV. Cabe aqui apenas discutir os resultados obtidos.

Ao avaliar-se a Tabela 4.14, percebe-se que os coeficientes de variação do ICV, de um modo geral, não são muito elevados. Os resultados obtidos demonstram baixa incerteza nos resultados de inventário. Dentre os fluxos que possuem maior coeficiente de variação e, por isso, poderiam gerar maior incerteza na análise de impacto estão: CO e SO₂, no ar, e DBO, DQO, Na e COT, nos corpos d'água.

Na AICV, cinco categorias demonstraram elevada variabilidade: oxidação fotoquímica, efeitos respiratórios, mudanças climáticas, acidificação dos corpos d'água e acidificação/nutrição do solo. Para estas categorias, os fluxos que mais contribuíram e suas contribuições em percentual podem ser visualizados na Tabela 4.22.

Os elementos da Tabela 4.22 que possuem incerteza maior que 1% (negrito) são CO₂, NO_x e SO₂. Das categorias de caracterização com incerteza maior que 1%, apenas a oxidação fotoquímica não possui a maior proporção de contribuição destes elementos. Não por acaso, sua incerteza é bem menos pronunciada que a das demais categorias (Tabela 4.15).

O processo que mais contribui para estes impactos é a geração de energia na termoelétrica. Os dados de emissão relacionados a este processo possuem incerteza por

serem oriundos de um banco de dados nacional. Neste caso, o coeficiente de variação utilizado para emissões é de 10% (Weidema *et al.*, 2003). Como boa parte desta incerteza foi gerada em bancos de dados relativos à produção energética na matriz brasileira, não é viável a realização de nova coleta de dados, a princípio, uma vez que o dado utilizado possui boa qualidade.

Tabela 4.22 Contribuições dos fluxos nas categorias de impacto.

MADEIRA					
%	Oxidação fotoquímica	Efeitos respiratórios	Mudanças climáticas	Acidificação água	Acidificação/nutrição solo
CO₂	-	-	98%	-	-
NMVOG	93%	-	-	-	-
CH ₄	3%	-	2%	-	-
NO_x	-	33%	-	-	79%
SO₂	-	30%	-	98%	21%
MP (PM 2.5)	-	32%	-	-	-
PO					
%	Oxidação fotoquímica	Efeitos respiratórios	Mudanças climáticas	Acidificação água	Acidificação/nutrição solo
CO₂	-	-	99%	-	-
NMVOG	97%	-	-	-	-
CH ₄	3%	-	-	-	-
NO_x	-	25%	-	-	69%
SO₂	-	38%	-	99%	31%
MP (PM 2.5)	-	32%	-	-	-

Das doze categorias de caracterização, apenas três não apresentaram diferenças significativas entre os cenários. Pode-se considerar que a não existência de diferenças significativas entre estas categorias reflete muito mais um comportamento dos dois ciclos de vida do que falta de qualidade nos dados de inventário, o que dispensa a revisão do escopo para este item.

Para a checagem da consistência do modelo, foram testadas algumas alternativas definidas no escopo.

Conforme comentado anteriormente, a escolha da matriz energética e da disposição final das embalagens são aspectos chave do escopo deste estudo. Assim, com a finalidade de reduzir as incertezas devidas a escolhas, realizou-se a análise de cenários para estes dois quesitos, em nível de dano normalizado para todas as categorias, exceto acidificação e eutrofização dos corpos d'água, avaliadas em nível de caracterização, por motivos já apresentados.

Pela pronunciada participação dos dados das unidades de processos relacionadas à produção energética nas categorias de impacto, cabe analisar a matriz energética utilizada na avaliação. A comparação da matriz energética nacional (denominada BR) com a dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (denominada S) permite que se estime o impacto da alteração da matriz utilizada. As duas matrizes empregadas nos procedimentos de cálculo estão descritas na Tabela 4.23.

Tabela 4.23 Proporções de produção energética nas duas matrizes utilizadas.

	S	BR
Hidroelétrica	68%	76%
Termoelétrica	32%	21%
Nuclear	0%	2%

Fonte: Brasil, 2005.

Foram calculados quatro cenários, envolvendo as duas tipologias de embalagens e as duas matrizes energéticas. Os resultados podem ser visualizados na Figura 4.31.

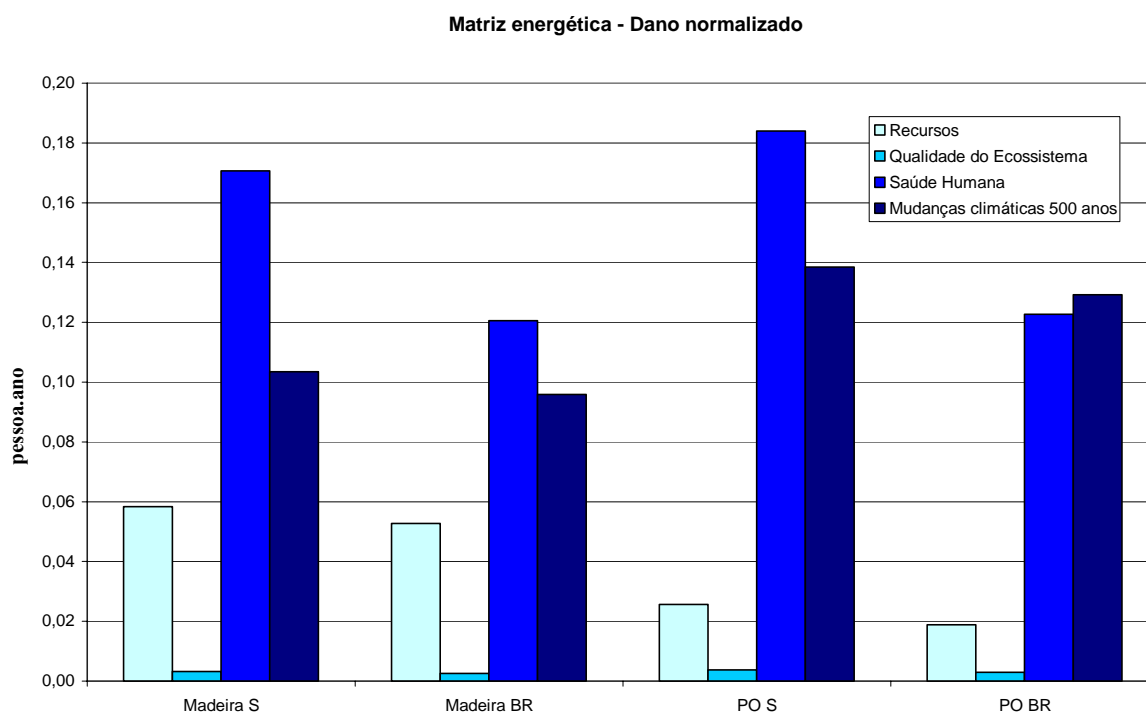


Figura 4.31 Escores de dano normalizado para os diferentes cenários relacionados à matriz energética. Unidade: pessoa.ano.

Observa-se claramente na Figura 4.31 que a matriz energética nacional é mais interessante ambientalmente que a utilizada nos estados do RS e SC. No cenário madeira, ocorre uma redução de 29% de danos à saúde humana e 20% dos danos à qualidade do

ecossistema. Ainda, ocorreu diminuição de 10% para recursos e 7% dos danos de mudanças climáticas. Para o cenário PO, ocorre uma redução de 33% para danos à saúde humana, 27% para recursos, 22% para qualidade do ecossistema e 7% para mudanças climáticas.

Para as categorias de acidificação e eutrofização dos corpos d'água foi realizada a análise no nível de caracterização. Os resultados podem ser visualizados nas Figuras 4.32 e 4.33.

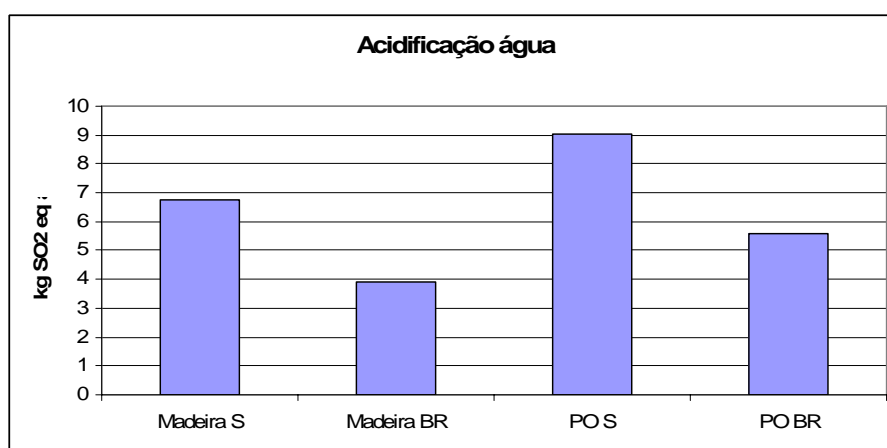


Figura 4.32 Resultados de caracterização para a categoria de acidificação dos corpos d'água, nas diferentes matrizes energéticas, para os dois cenários. Unidade: kg SO₂ eq ar.

Para a categoria de acidificação, ocorre redução de 42% no cenário madeira e 38% no cenário PO. Esta redução se justifica, uma vez que a produção energética na termoelétrica é responsável por 95% e 87% da geração deste impacto, para os cenários madeira e PO, respectivamente.

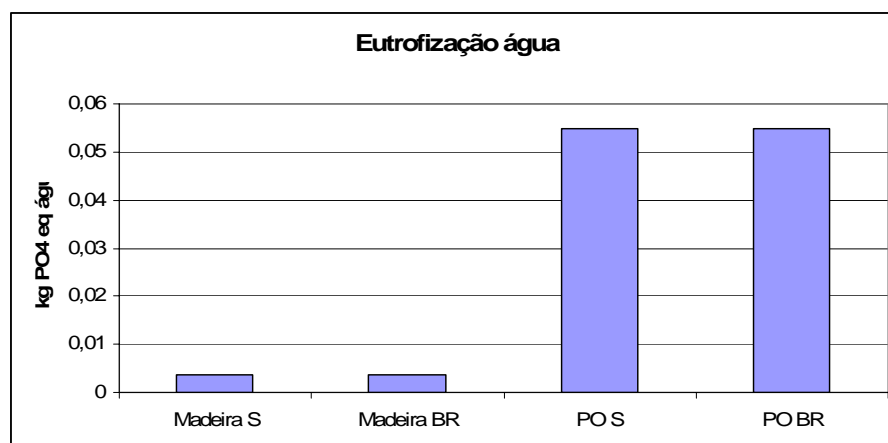


Figura 4.33 Resultados de caracterização para a categoria de eutrofização dos corpos d'água, nas diferentes matrizes energéticas, para os dois cenários. Unidade: kg PO₄ eq água.

Já para eutrofização dos corpos d'água a redução é bastante menor, não chegando a 1% em nenhum dos cenários. Mais uma vez, estes valores se justificam pela baixa

participação da produção energética neste impacto, conforme se observa nas Tabelas 4.20 e 4.21.

Utilizando a matriz energética S, foram avaliados seis diferentes cenários para a disposição final de resíduos sólidos, conforme a Tabela 4.24.

Tabela 4.24 Cenários de disposição final avaliados

	100% incineração	100% disp. aterro	50% incin., 50% disp. aterro
Madeira	Madeira incineração	Madeira aterro	Madeira a/i
PO	PO incineração	PO aterro	PO a/i

Os resultados obtidos, para os seis cenários de disposição final, contemplam a disposição final de embalagens não recicladas e de resíduos de madeira gerados ao longo do processo e podem ser visualizados na Figura 4.34.

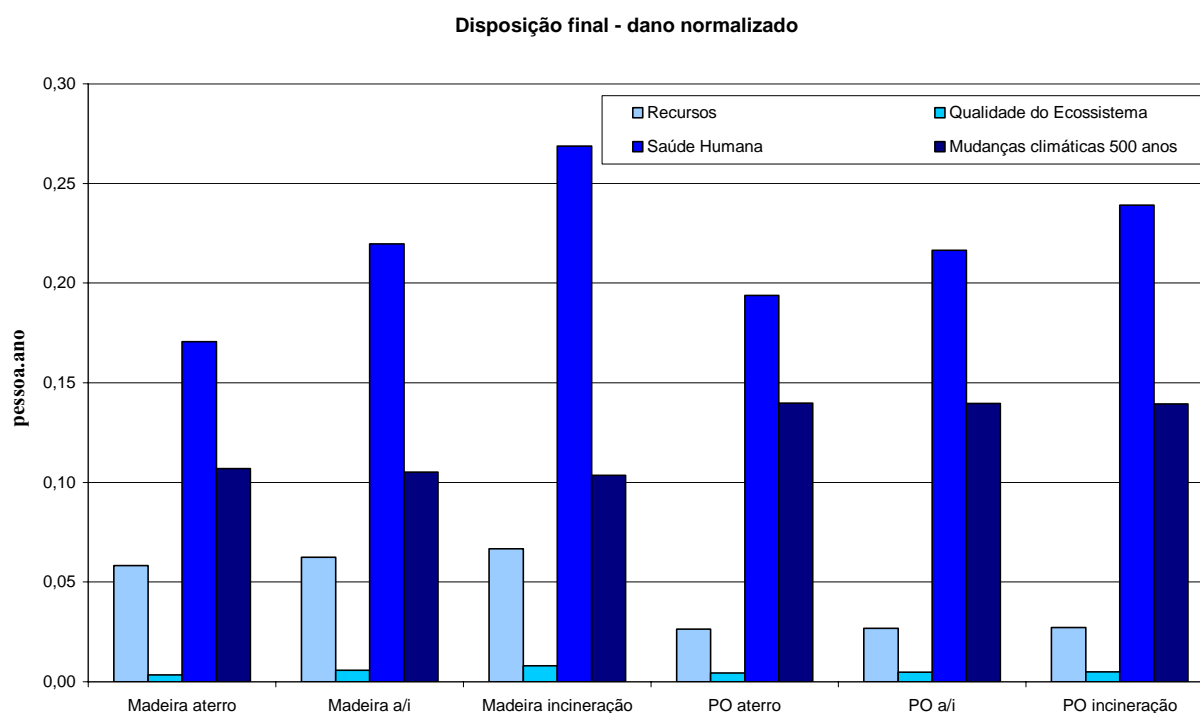


Figura 4.34 Escores de dano normalizado para os diferentes cenários de disposição final de resíduos sólidos.

Os resultados demonstram que a disposição final de resíduos sólidos (madeira e PO) em aterro controlado é vantajosa em relação à incineração destes materiais. Para o cenário PO, a incineração produz 14% mais danos à qualidade do ecossistema e 23% mais danos à saúde humana que a disposição em aterro. Já no cenário madeira, a incineração em relação à disposição em aterro produz 143% mais danos à qualidade do ecossistema,

57% mais danos à saúde humana, 14% mais danos aos recursos e 3% menos danos para mudanças climáticas.

Para as categorias de acidificação e eutrofização dos corpos d'água, os resultados podem ser visualizados nas Figuras 4.31 e 4.32.

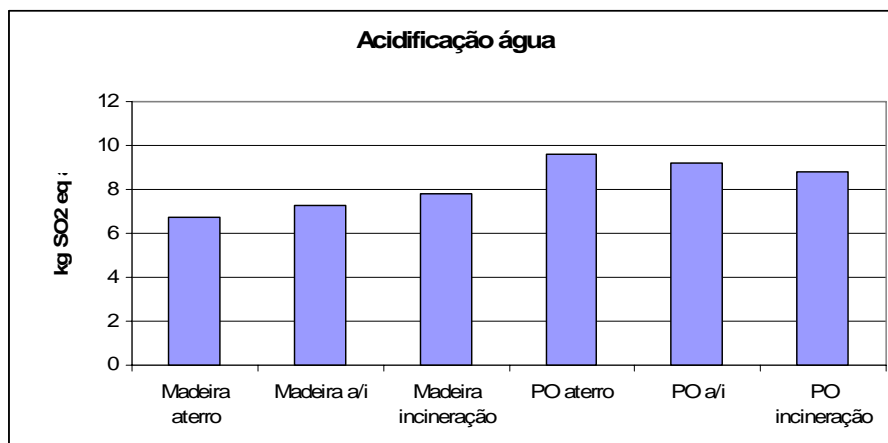


Figura 4.35 Resultados de caracterização para a categoria de acidificação dos corpos d'água, para diferentes cenários de disposição final das embalagens. Unidade: kg SO₂ eq ar.

Conforme se observa na Figura 4.35, o uso da incineração eleva os impactos de acidificação para o ciclo de vida das embalagens em madeira, mas reduz para PO. Ocorre aumento de 16% para madeira e redução de 8% para PO. Estes valores se justificam pela emissão de gases (SO₂ e amônia) na queima da madeira. Já a disposição do PO em aterro emite cinco vezes mais SO₂ que a incineração deste material, de acordo com os dados disponibilizados no *software GaBi* (LBP, PE, 2007).

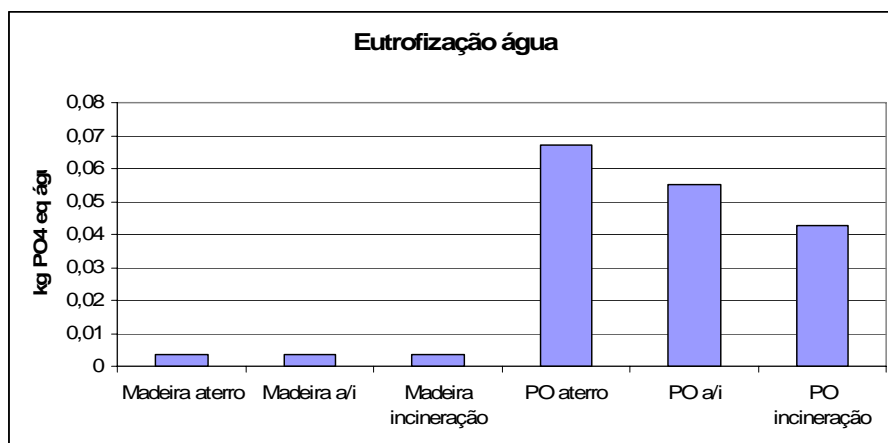


Figura 4.36 Resultados de caracterização para a categoria de eutrofização dos corpos d'água, para diferentes cenários de disposição final das embalagens. Unidade: kg PO₄ eq água.

Para a eutrofização dos corpos d'água (Figura 4.36) ocorre redução de 36% do escore no uso da incineração no cenário PO. Isto porque, a disposição do PO em aterro libera grande quantidade de fósforo para o solo e, conseqüentemente, aos corpos d'água.

Cabe salientar que a incineração da madeira pode ser vantajosa se for ponderado que ela produz energia. Assim sendo, muitos dos danos relacionados à matriz energética, por exemplo, poderiam ser evitados. Para se ter uma idéia, o ciclo de vida da madeira consome, em energia elétrica, cerca de 2.350 MJ; enquanto o do PO consome 2.870 MJ. A produção de energia a partir da incineração da madeira gera energia térmica da ordem de 300.000 GJ no cenário madeira e 2.000 GJ no cenário PO. Deste modo, poderia ser utilizada uma fração do resíduo sólido de madeira produzido nos dois ciclos de vida como insumo para a produção de energia, o que tornaria os dois cenários auto-suficientes energeticamente. Como o uso da incineração representa menor impacto por unidade de energia produzida (MJ) que a produção de energia na termoelétrica, aconselha-se o estudo da viabilidade de seu uso como fonte energética alternativa.

4.4.3 Conclusões da ACV

A partir dos dados obtidos e dos resultados anteriormente discutidos, é possível concluir que, para o cenário-base definido, a utilização de embalagens em madeira tipo platô (6 kg) para transporte de frutas é ambientalmente vantajosa em relação à embalagem em PO. Ainda, está comprovado, pela observação do diagrama triangular, que este resultado se manteria para qualquer cenário em que danos à saúde humana tivessem peso igual ou superior a 40%. É importante salientar que valorar danos à saúde humana em menos de 40% significaria dar pesos maiores aos danos à qualidade do ecossistema e aos recursos do que à saúde humana, o que normalmente não se observa nas metodologias consagradas de AICV.

Por outro lado, a discussão dos resultados alerta para o fato de que o resultado obtido para a ACV é totalmente dependente do cenário-base escolhido, uma vez que os principais impactos estão relacionados à geração energética e disposição final dos resíduos sólidos. Assim sendo, salienta-se mais uma vez o cuidado que deve ser tomado na aplicação dos dados obtidos no presente trabalho em outra ACV, uma vez que as diferenças nas magnitudes dos impactos para os dois cenários se mostraram relacionadas ao escopo do estudo.

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento da pesquisa de utilização da avaliação do ciclo de vida para a comparação de embalagens descartáveis para frutas demonstrou a potencialidade da ACV, permitindo diversas conclusões.

Os valores obtidos na execução desta avaliação do ciclo de vida demonstram que as caixas de madeira apresentam maiores vantagens no quesito ambiental em relação às embalagens em PO. Conforme se observa no diagrama triangular, cenários de atribuição de pesos que consideram danos à saúde humana com uma importância moderada a alta, terão preferência pela adoção de embalagens em madeira. Para as categorias de acidificação e eutrofização dos corpos d'água, não contempladas no nível de dano, o cenário madeira também é vantajoso em relação ao cenário PO.

As análises de incerteza realizadas demonstram que os resultados são satisfatórios dentro do escopo definido. Porém, a dificuldade em obter dados secundários com valores de distribuição de probabilidade não permite uma aproximação mais realista. O uso de dados de séries históricas evitaria a utilização de aproximações baseadas na literatura, permitindo maior aproximação à realidade, especialmente para os processos relacionados à produção de energia elétrica.

Outro fato bastante relevante na obtenção dos resultados finais da ACV é a contribuição das unidades de processo. Os processos de maior relevância para o cenário madeira são: produção de energia na termoelétrica, produção de grampos, produção de diesel, extração da madeira, e utilização do modal caminhão. Já para o cenário PO, destacam-se produção de energia, disposição do PO, produção integrada de celulose e papel e extração da madeira.

Percebe-se claramente uma maior participação dos processos relacionados a transporte no ciclo de vida madeira. Embora as distâncias percorridas neste ciclo de vida sejam menores que no PO, o cenário madeira demanda maiores quantidades de insumos, por produzir muito resíduo, conforme descrito anteriormente no Capítulo 4.

Para os dois cenários, a maior contribuição nos impactos advém da produção de energia elétrica, conforme demonstrado no Capítulo 4. O uso da matriz energética nacional permite uma redução proporcional dos impactos, mantendo as mesmas diferenças entre as categorias de dano. Cabe salientar aqui que a instalação destas indústrias em outras unidades da federação poderia reduzir de forma significativa os impactos totais destes ciclos de vida. Por outro lado, a não disponibilidade dos insumos localmente ou

mesmo a inexistência de produtores, que consomem estas embalagens, produziria maiores danos relacionados ao modal de transporte utilizado. Este exemplo demonstra os cuidados necessários ao se aplicar os dados coletados neste trabalho em uma realidade diversa à deste estudo.

O uso de cenários de produção de eletricidade e disposição final de resíduos sólidos, conforme demonstrado na discussão dos resultados permite avaliar a influência das escolhas feitas na etapa de definição do escopo. As diferenças observadas nos resultados dos cenários avaliados demonstram que a aplicação dos dados em outra região, com diferente política de disposição de resíduos e produção energética, poderia acarretar em resultados equivocados se estas disparidades não fossem consideradas na definição do escopo.

Cabe salientar que os cenários de disposição final também interferem diretamente no resultado da ACV, uma vez que se fosse considerada a incineração dos resíduos, ao invés da disposição em aterro, o cenário PO seria vantajoso para todas as categorias de dano, exceto mudanças climáticas.

Os resultados obtidos comprovam que a ferramenta ACV pode ser aplicada à realidade brasileira, desde que sejam observadas algumas precauções. A compilação de um banco de dados de inventário nacional facilitará a aplicação da ferramenta localmente. Porém, é evidente a necessidade de uma metodologia nacional de AICV, que contemple as peculiaridades locais, para uma tomada de decisão válida através do uso da ferramenta ACV.

Os resultados obtidos no ICV, AICV e nas avaliações de sensibilidade e incerteza permitem concluir que a embalagem em madeira tipo platô com capacidade de 6 kg possui comportamento ambiental superior à embalagem similar produzida em papelão ondulado.

6 RECOMENDAÇÕES

Tendo como base as conclusões obtidas, é possível apontar algumas recomendações para estudos em avaliação do ciclo de vida futuros:

- Realizar a ACV com base em uma equipe multidisciplinar, facilitando os procedimentos de definição do escopo, coleta e agregação dos dados;
- Sempre que possível, efetuar a coleta de dados primários, procurando manter o mesmo critério para todas as coletas;
- Usar de medições homogêneas de dados, a fim de facilitar a agregação e avaliação dos dados;
- Uma vez disponibilizados, utilizar de bancos de dados com distribuição de probabilidade e que considerem os processos em separado;
- Buscar o desenvolvimento de uma ferramenta nacional de avaliação de impacto de ciclo de vida.

Especificamente para os ciclos de vida em estudo, o banco de dados produzido pode ser atualizado à medida que dados de qualidade superior sejam disponibilizados. Um item chave que poderia ter melhor estimativa é o de emissões atmosféricas nas indústrias. Isto seria possível a partir da instalação de equipamentos de medição nas empresas.

7 REFERÊNCIAS

ACCARINI, J.H.; MAZOCATO, M.A; COSTA, O.G.P.; LUENGO, R.F.A. Hortigranjeiros – crescimento exponencial: o setor cresce a taxas elevadas no Brasil. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 12, p. 26-34, 1999.

ALMEIDA, G.V.B. Embalagem, classificação e distribuição de frutas: normas e legislação. In: ENCONTRO NACIONAL DE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, 9., 2006, Bento Gonçalves. **Anais**: trabalhos técnicos. Bento Gonçalves, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR5985**: papelão ondulado e caixas de papelão ondulado. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR ISO 14001**: sistemas de gestão ambiental – requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 1996. 35 p.

_____. **NBR ISO 14040**: gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO PAPELÃO ONDULADO. **A história do papelão ondulado desde suas origens até os dias atuais**. São Paulo, 2006a. Disponível em: <www.abpo.org.br>. Acesso em: fevereiro de 2006.

_____. **Papelão ondulado**: sistema modular. São Paulo, 2006b. Disponível em: <www.abpo.org.br>. Acesso em: fevereiro de 2006.

AUGOOD, D.R. Assessing environmental impacts of wood used as a raw material in North America. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL STAFF. **Wood in our future**. Washington, D.C.: National Academy Press, 1997. p. 27-35.

BOVEA, M.D.; GALLARDO, A. The influence of impact assessment methods on materials selection for eco-design. **Materials and Design**, Surrey, v. 27, p. 209–215, 2006.

BRASIL.Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa Conjunta nº 9, de 12 de novembro de 2002. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, 14 nov 2002. Disponível em: <www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 10 de junho de 2007.

_____. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional 2005**: ano base 2004, relatório final. Rio de Janeiro, 2005.

CALBO, A.G. Pós-colheita de algumas hortaliças. In: ARMAZENAMENTO de hortaliças. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2001. 242 p.

CALDEIRA-PIRES, A. ; BRASIL JR, A.C.; VERAS, C.A.G. ; MOTA, J.A.; GALLO, J. V.; ANTUNES, C. Metodologias Avançadas para o Estudo de Impactos Ambientais de Termelétricas. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 3., 2005, Florianópolis. **Anais**: trabalhos técnicos. Florianópolis, 2005.

CASTRO, L.R.; CORTEZ, L.A.B.; JORGE, J.T. Influência da embalagem do desenvolvimento de injúrias mecânicas em tomates. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 26-33, jan.-abr. 2001

CHEHEBE, J.R. **Análise do ciclo de vida de produtos**: ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997. 104 p.

CHRISTIE, I.; ROLFE, H.; LEGARD, R. **Cleaner production in industry**. London: Policy Studies Institute, 1995. 267 p.

COLTRO, L.; GARCIA, E.C.C.; QUEIROZ, G.C. Life cycle inventory for electric energy system in Brazil. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 8, n. 5, p. 290-296, 2003.

CURRAN, M.A. **Environmental life cycle assessment**. New York: McGraw-Hill, 1996. 431 p.

_____. Report on activity of Task Force 1 in the life cycle inventory programme: data registry – global life cycle inventory data resources. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 11, n. 4, p. 284-89, 2006.

DOKA, G. **MIXTRI 2.0** - an MS Excel 97 VBA macro to draw LCA results in a mixing triangle (aka ternary plot). Zürich, 2000. Disponível em: <<http://www.doka.ch/EI99/mixtri.htm>>. Acesso em: 02 de agosto de 2007.

EKVALL, T.; FINNVEDEN, G. Allocation in ISO 14041—a critical review. **Journal of Cleaner Production**, Knoxville, n. 9, p. 197–208, 2001.

ERLANDSSON, M.; LEVIN, P. Environmental assessment of rebuilding and possible performance improvements effect on a national scale. **Building and Environment**, Oxford, v. 39, p. 1453–1465, 2004.

EUROPEAN FEDERATION OF CORRUGATED BOARD MANUFACTURERS. **The origin of corrugated**. 98 p. Disponível em: <www.fefco.org>. Acesso em: fevereiro de 2006.

_____. **European database for corrugated board life cycle studies**. Brussels: European Containerboard Organisation, 2003.

FERREIRA, J.V.R. **Análise do ciclo de vida dos produtos**. Viseu: Instituto Politécnico. 2004. 77 p.

FIGUEIREDO, N.M.S.; MADI, L.F.C.; VIEIRA, L.F.; SANT'ANNA, L.A.R. Estudo comparativo do custo de embalagens de madeira e de papelão para comercialização de tomate. **Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 55, p. 187-207, jan./fev. 1978.

FINNVEDEN, G.; EKVALL, T. Life-cycle assessment as a decision-support tool—the case of recycling versus incineration of paper. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 24, p. 235–256, 1998.

FLEISCHER, G.; SCHMIDT, W.-P. Iterative screening LCA in an eco-design tool. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 2, n. 1, p. 20-24, 1997.

FLORESTAR ESTATÍSTICO: Revista do Setor Florestal Paulista para o Desenvolvimento Sustentável. São Paulo: Fundação para a Conservação e a Produção Florestal do Estado de São Paulo, v. 9, n. 18, 2006. Disponível em: <<http://www.sisflor.org.br>>. Acesso em: 02 de agosto de 2007.

FRISCHKNECHT, R. (Org.). **Öko-inventare von Energiesystemen**. 3rd. ed. 1996. Disponível em: <<http://www.energieforschung.ch>>. Acesso em: 25 de janeiro de 2007.

FRISCHKNECHT, R.; JUNGBLUTH, N.; ALTHAUS, H.-J.; DOKA, G.; DONES, R.; HELLWEG, S.; HISCHIER, R.; NEMECEK, T.; REBITZER, G.; SPIELMANN, M. **Ecoinvent 2000: code of practice**. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2004a. Data v1.1, Ecoinvent Report n. 2. Disponível em: <www.ecoinvent.ch>. Acesso em: 05 de outubro de 2006.

_____. **Ecoinvent 2000: overview and methodology**. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2004b. Data v1.1, Ecoinvent Report n. 1. Disponível em: <www.ecoinvent.ch>. Acesso em: 05 de outubro de 2006.

GERDAU. **Perfil institucional**. Porto Alegre, 2005a. Disponível em: <www.gerdau.com.br>. Acesso em: 04 de junho de 2007.

_____. **Relatório de gestão ambiental**. Porto Alegre, 2005b. Disponível em: <www.gerdau.com.br>. Acesso em: 04 de junho de 2007.

_____. **Relatório de gestão ambiental**. Porto Alegre, 2006. Disponível em: <www.gerdau.com.br>. Acesso em: 04 de junho de 2007.

GIBSON, Will. A practical view of life-cycle assessment. In: **IMPLEMENTING ISO14000: a practical, comprehensive guide to the ISO14000 environmental management standards**. Chicago: McGraw-Hill, 1997. ch. 26, 586 p.

GOEDKOOOP, M. **Short introduction to Sima Pro 7**. Amersfoort: PRé Consultants, 2006. 22 p. Disponível em: <<http://www.pre.nl/simapro>>. Acesso em 10 de setembro de 2007.

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, 2000. 49 p.

GUINÉE, J.B.; GORREE, R.; HEIJUNGS, G.; HUPPES, R.; KLEIJN, R.; UDO DE HAES, H.A. **Environmental life cycle assessment: backgrounds**. Leiden: Leiden University, Centre of Environmental Science, 2000.

GUINÉE J.B. (Ed). **Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 710 p.

HENZ, G.P.; CARDOSO, F.B. Absorção de água e proliferação de fungos em madeira de Pinus usada como embalagem para hortaliças. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 138-142, jan./mar, 2005.

HENZ, G.P.; REIFSCHNEIDER, F.J.B. Modernização das embalagens da mandioca-salsa e sua comercialização no atacado paulista. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 4, p. 815-820, out./dez. 2004.

HEIJUNGS, R.; SUH, S. **The computational structure of life cycle assessment**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2002. 242 p.

HEIJUNGS, R. **CMLCA 4.0: chain management by life cycle assessment**, short manual. Leiden: Leiden University, 2003. 40 p. Disponível em: <<http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/software/cmlca/index.html>>. Acesso em 10 de setembro de 2007.

HISCHIER, R., ALTHAUS, H.J., WERNER, F. Developments in wood and packaging materials Life Cycle Inventories in ecoinvent. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 10, n. 1, p. 50-58, 2005.

HOGAAS, E. M., OHLSSON T. Comparison of two different approaches to inventory analysis of dairies. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 3, n. 4, p. 209–215, 1998.

HROMKOVIC, J. Método de Monte Carlo. In: **ALGORITHMS for hard problems: introduction to combinatorial optimization, randomization, approximation, and heuristics**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_de_Monte_Carlo>. Acesso em: 25 de agosto de 2007.

HUIJBREGTS, M.A.J. Application of uncertainty and variability in LCA (part I) – a general framework for the analysis of uncertainty and variability in life cycle assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 3, n. 5, p. 273-280, 1998.

HUIJBREGTS, M.A.J.; GILIJAMSE, W.; RAGAS, A.M.J.; REIJNDERS, L. Evaluating uncertainty in environmental life-cycle assessment. A case study comparing two insulation options for a Dutch one-family dwelling. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 37, p. 2600-2608, 2003.

HUMBERT, S. **IMPACT 2002+ version 2.1.**: version formatted ready to be imported into GaBi 4. Lausanne: École Polytechnique Fédérale, 2005. Disponível em: <<http://www.epfl.ch/impact>>. Acesso em: 16 de junho de 2007.

HUMBERT, S.; MARGNI, M.; JOLLIET, O. **IMPACT 2002+**: user guide. Lausanne: École Polytechnique Fédérale, 2005. 40 p.

HUNT, R. G.; BOGUSKI, T. K.; WEITZ, K.; SHARMA, A. Case studies examining LCA streamlining techniques. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 3, n. 1, p. 36-42, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Dimensão econômica: padrões de produção e consumo. Reciclagem. In: **INDICADORES de Desenvolvimento Sustentável: Brasil, 2004**. Rio de Janeiro, 2004. cap. 51.

INTEGRATED POLLUTION PREVENTION AND CONTROL. **Reference document on best available techniques in the pulp and paper industry.** 2001.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2001: the scientific basis.** Cambridge: Cambridge University, 2001. Disponível em: <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/>. Acesso em: 18 de julho de 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14040:** environmental management – life cycle assessment– principles and framework. Geneva, 2006a. 21 p.

_____. **ISO 14044:** environmental management — life cycle assessment — requirements and guidelines. Geneva, 2006b. 47 p.

_____. **ISO/ TR 14.047:** environmental management- life cycle impact assessment- examples of application of ISO 14042. Geneva, 2003. 94 p.

JOLLIET, O.; MARGNI, M.; CHARLES, R.; HUMBERT, S.; PAYET, J.; REBITZER, G.; ROSENBAUM, R. IMPACT 2002+: a new life cycle impact assessment methodology. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 8, n. 6, p. 324-330, 2003.

LBP-GaBi UNIVERSITY OF STUTTGART. **GaBi 4 software-system and databases for life cycle engineering:** copyright, TM, versão 4.2.96.1. Stuttgart: PE International, 2007. Disponível em: <www.gabi-software.com>. Acesso em: 10 de abril de 2007.

LUENGO, R.F.A. Princípios de pós-colheita para aumentar a conservação das hortaliças. In: ARMAZENAMENTO de hortaliças. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2001. 242 p.

LUENGO, R.F.A.; CALBO, A.G.; JACOMINO, A.P.; PESSOA, J.D.C. Avaliação da compressão em hortaliças e frutas e seu emprego na determinação do limite físico da altura da embalagem de comercialização. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 704-707, out./dez. 2003.

MAINARDI, G.L.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. Produção de *Pinus Taeda L.* na região de Cambará do Sul, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 6, n. 1, 1996. p. 39-52.

MAURICE, B.; FRISCHKNECHT, R.; COELHO-SCHWIRTZ, V.; HUNGERBÜHLER, K. Uncertainty analysis in life cycle inventory. Application to the production of electricity with French coal power plants. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 8, p. 95-108, 2000.

MIETTINEN, P.; HÄMÄLÄINEN, R.P. How to benefit from decision analysis in environmental life cycle assessment (LCA). **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 102, p. 279-294, 1997.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: synthesis.** Washington: Island Press, 2005. 155 p. Disponível em: <www.millenniumecosystemassessment.org>. Acesso em: 02 de agosto de 2007.

PASSUELLO, A.C.B.; CYBIS, L.F. A influência dos métodos de avaliação de impacto de ciclo de vida na comparação de embalagens para frutas: estudo de caso. In: SEMINÁRIO SOBRE TECNOLOGIAS LIMPAS, 2., 2007, Porto Alegre. **Anais**: trabalhos técnicos. Porto Alegre: 2007a. 11 p.

PASSUELLO, A.C.B.; CYBIS, L.F. Aplicação da análise de inventário de ciclo de vida em caixas para acondicionamento e transporte de frutas. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DO CICLO DE VIDA, 2007, São Paulo. **Anais**: trabalhos técnicos. São Paulo: 2007b. 4 p.

PENNINGTON, D.W.; MARGNI, M.; AMMAN, C.; JOLLIET, O. Multimedia fate and human intake modeling: spatial versus non-spatial insights for chemical emissions in Western Europe. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 39, n. 4, p. 1119-1128, 2005.

PERES, P.S. O papelão ondulado em 2004. **Revista O Papel** 2005. São Paulo: ABPO, 2005. Disponível em: <www.abpo.org.br>. Acesso em: 10 de março de 2006.

PRÉ CONSULTANTS. **Sima Pro versão 7.0.1 Demo**. Amersfoort, 2006. Disponível em: <<http://www.pre.nl/webdemo/default.htm>>. Acesso em: 10 de outubro de 2006.

REBITZER, G. **Enhancing the application efficiency of life cycle assessment for industrial uses**. 2005. 219 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Faculté Environment Naturel, Architectural et Construit, École Polytechnique Fédérale, Lausanne, 2005.

REZENDE, M.A.; SEVERO, E.T.D.; QUINTANA, I.R. Estudo das variações da massa específica em *Pinus oocarpa* através da técnica de atenuação da radiação gama. **Floresta**, Curitiba, v. 29, p. 67-84, 1999.

RIBEIRO, Flávio de Miranda. **Inventário de ciclo de vida da geração hidrelétrica no Brasil - Usina de Itaipu: primeira aproximação**. 2003. 243 p. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (PIPGE/ USP), São Paulo, 2003.

RIO GRANDE DO SUL. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. **Mapa rodoviário 2006**. Porto Alegre: Diretoria de Obras, 2006. Disponível em: <<http://www.daer.rs.gov.br>>. Acesso em: outubro de 2006.

SOARES, S. R.; SOUZA, D.M.; PEREIRA, S.W. A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. **Coletânea Habitare**, v. 7, Construção e Meio Ambiente, 2006. Disponível em: <http://www.habitare.org.br/ArquivosConteudo/ct_7_cap4.pdf>. Acesso em: 10 de abril de 2007.

SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY. **Evolution and development of the conceptual framework and methodology of life-cycle impact assessment**. 1998. 14 p. Disponível em: <www.setac.org>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2006.

SONNEMANN, G.W.; SCHUHMACHER, M., CASTELLS, F. Uncertainty assessment by a Monte Carlo simulation in a life cycle inventory of electricity produced by a waste incinerator. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 11, p. 279-292, 2003.

TANGSUBKUL,N.; BEAVIS, P.; MOORE, S.J.; LUNDIE; S.; WAITE, T.D. Life cycle assessment of water recycling technology. **Water Resources Management**, Dordrecht, v. 19, p. 521–537, 2005.

TILLMAN, A.M.; BAUMANN, H. **General description of life cycle assessment methodology**. Chalmers: University of Technology, 1994. (Technical Environmental Planning. Report 1995:5).

UDO DE HAES, H.A.; JOLLIET, O.; FINNVEDEN, G.; HAUSCHILD, M.; KREWITT, W.; MÜLLER-WENK, R. Best available practice regarding impact categories and category indicators in life cycle impact assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 4, n. 3, p. 167-174, 1999.

UGAYA, C.M.L.; COELHO, C. Life Cycle Inventory of Steel Production in Brazil. In: GLOBAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE PRODUCT DEVELOPMENT AND LIFE CYCLE ENGINEERING, 4., 2006, São Carlos. **Anais**: trabalhos técnicos. São Carlos : Sustainable Manufacturing, 2006.

VILELA, N.J ; LUENGO, R.F. Viabilidade técnica e econômica da caixa Embrapa para comercialização de tomate para consumo in natura. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 222-227, jun. 2002.

WEBER, C.C.; BEAL, L.L.; CYBIS, L.F. Conservação da água aplicada a uma indústria de embalagens de papelão ondulado: estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. **Anais**: trabalhos técnicos. Belo Horizonte: ABES, 2007. II-082, 1 CD-ROM.

WEIDEMA, B.; FRESS, N.; PETERSEN, E.H.; OLGAARD, H. **Reducing uncertainty in LCI**: developing a data collection strategy. Kobenhavn: Danish Environmental Protection Agency, 2003.

WENZEL H, HAUSCHILD M, ALTING L. Methodology, tools and case studies in product development. In: _____. **Environmental assessment of products**. London: Chapman & Hall, 1997. v. 1.

YAROS, B. Life-cycle thinking for wood and paper products In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL STAFF. **Wood in our future**. Washington, D.C.: National Academy Press, 1997. p. 11-16

8 APÊNDICES

Tabela 8.1 Compilação dos resultados do ICV para o cenário madeira:Entradas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg.

	Plantio da madeira	Corte da madeira	Extração da madeira	Fabricação da caixa de madeira	Utilização de fotocopiadora	Uso da caixa de madeira	Disposição em aterro - madeira	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Produção de grampos metálicos	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância)
Produção de resíduos no ciclo de vida														
Excedente de produção	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06	-	-	-	-	-
Resíduo de madeira para compostagem	-	-	-	-	-	-	787,43	-	-	-	-	-	-	-
Sucata de aço	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44,32	-	-	-
Utilização de Recursos energéticos não renováveis														
Petróleo - Brasil	-	0,75	10,87	-	-	-	-	2,04	0,07	107,91	-	-	-	-
Carvão - antracito	-	-	-	-	-	-	-	118,58	0,07	0,55	17,38	-	-	-
Carvão - lignito	-	-	-	-	-	-	-	0,34	0,22	1,30	11,13	-	-	-
Gás natural	-	-	-	1,33	-	-	-	1,12	2,01E-02	5,53	6,20	-	-	-
Urânio	-	-	-	-	-	-	-	3,86E-06	2,64E-06	4,04E-05	4,81E-07	-	-	-
Utilização de Recursos energéticos renováveis														
Madeira	-	-	2.171,33	-	-	-	-	3,10E-04	6,08E-04	1,26E-04	-	-	-	-
Madeira (BUWAL)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	-	-	-
Madeira para serraria	-	1.525,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resíduo de madeira - refilo	-	-	-	3.064,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilização de Elementos não renováveis														
Ferro	-	-	-	-	-	-	-	6,24E-11	5,04E-10	2,33E-10	-	-	-	-
Chumbo	-	-	-	-	-	-	-	8,52E-16	1,82E-16	1,84E-16	-	-	-	-
Enxofre	-	-	-	-	-	-	-	2,58E-09	2,21E-08	9,64E-09	-	-	-	-
Recursos não renováveis	-	-	-	-	-	-	138,12	831,93	12,74	25,93	24,36	-	-	-
Sulfato de bário	-	-	-	-	-	-	-	8,73E-14	1,86E-14	1,89E-14	-	-	-	-
Basalto	-	-	-	-	-	-	-	5,97E-03	2,84E-04	2,03E-04	-	-	-	-
Bauxita	-	-	-	-	-	-	-	1,11E-04	5,45E-03	2,35E-04	-	-	-	-
Bentonita	-	-	-	-	-	-	-	3,09E-03	2,05E-03	0,16	-	-	-	-
Cloreto de cálcio	-	-	-	-	-	-	-	8,94E-12	1,91E-12	1,93E-12	-	-	-	-
Minério de cromo	-	-	-	-	-	-	-	1,02E-05	1,87E-03	2,68E-05	-	-	-	-
Argila	-	-	-	-	-	-	-	5,11E-03	0,06	0,04	-	-	-	-
Minério de colemanita	-	-	-	-	-	-	-	1,52E-07	4,99E-07	3,12E-06	-	-	-	-
Minério de cobre - ouro - prata (1,0% Cu; 0,4 g/t Au; 66 g/t Ag)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-
Minério de cobre - ouro - prata (1,1% Cu; 0,01 g/t Au; 2,86 g/t Ag)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,25E-02	-	-	-	-	-
Minério de cobre - ouro - prata (1,16% Cu; 0,002 g/t Au; 1,06 g/t Ag)	-	-	-	-	-	-	-	-	7,05E-03	-	-	-	-	-
Minério de cobre - molibdênio - ouro - prata (1,13% Cu; 0,02% Mo; 0,01 g/t Au; 2,86 g/t Ag)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-
Minério de cobre (0,14%)	-	-	-	-	-	-	-	1,75E-04	6,78E-05	7,75E-04	-	-	-	-
Minério de cobre (1,2%)	-	-	-	-	-	-	-	-	2,13E-03	-	-	-	-	-
Minério de cobre (4%)	-	-	-	-	-	-	-	3,17E-14	9,65E-13	5,78E-14	-	-	-	-
Minério de cobre	-	-	-	-	-	-	-	3,76E-11	1,15E-09	6,86E-11	-	-	-	-
Dolomita	-	-	-	-	-	-	-	6,43E-07	3,46E-08	4,14E-07	-	-	-	-
Ferro manganês	-	-	-	-	-	-	-	4,26E-16	9,08E-17	9,21E-17	-	-	-	-
Fluorita	-	-	-	-	-	-	-	3,93E-08	3,54E-05	4,38E-07	-	-	-	-
Cascalho	-	-	-	-	-	-	138,12	-	-	-	-	-	-	-
Gesso	-	-	-	-	-	-	-	3,30E-03	0,04	5,84E-03	-	-	-	-
Barita	-	-	-	-	-	-	-	7,14E-03	3,08E-04	0,39	-	-	-	-
Rocha inerte	-	-	-	-	-	-	-	830,97	2,27	24,62	-	-	-	-
Minério de ferro	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,05	0,12	21,79	-	-	-
Minério de ferro (65%)	-	-	-	-	-	-	-	1,39E-05	5,03E-05	1,51E-05	-	-	-	-
Minério de caulim	-	-	-	-	-	-	-	2,50E-07	2,28E-07	5,57E-06	-	-	-	-
Minério de chumbo - zinco (4,6% - 0,6%)	-	-	-	-	-	-	-	4,57E-04	7,65E-04	0,03	-	-	-	-

(continua)

Tabela 8.1 Compilação dos resultados do ICV para o cenário madeira:Entradas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg.(continuação)

	Plantio da madeira	Corte da madeira	Extração da madeira	Fabricação da caixa de madeira	Utilização de fotocopiadora	Uso da caixa de madeira	Disposição em aterro - madeira	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Produção de grampos metálicos	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância)
Utilização de Elementos não renováveis (continuação)														
Carbonato de cálcio	-	-	-	-	-	-	-	0,15	1,56	0,34	2,57	-	-	-
Carbonato de magnésio	-	-	-	-	-	-	-	6,34E-08	0,00	1,15E-07	-	-	-	-
Cloreto de magnésio lixiviado (40%)	-	-	-	-	-	-	-	3,24E-04	0,00	0,01	-	-	-	-
Minério de manganês	-	-	-	-	-	-	-	1,96E-06	0,00	5,13E-06	-	-	-	-
Minério de manganês (ROM)	-	-	-	-	-	-	-	2,53E-07	0,00	1,22E-03	-	-	-	-
Dissulfeto de molibdênio (Mo 0,24%)	-	-	-	-	-	-	-	3,43E-08	0,01	7,42E-09	-	-	-	-
Agregado natural	-	-	-	-	-	-	-	0,63	7,33	0,10	-	-	-	-
Minério de níquel	-	-	-	-	-	-	-	4,24E-10	1,42E-09	8,65E-09	-	-	-	-
Minério de níquel (1,6%)	-	-	-	-	-	-	-	7,85E-06	7,05E-03	4,31E-03	-	-	-	-
Olivina	-	-	-	-	-	-	-	4,69E-15	9,99E-16	1,01E-15	-	-	-	-
Turfa	-	-	-	-	-	-	-	3,39E-05	8,20E-06	2,11E-04	-	-	-	-
Minério de fósforo	-	-	-	-	-	-	-	-	1,91E-07	2,93E-06	-	-	-	-
Minerais fosfatados	-	-	-	-	-	-	-	8,45E-08	2,63E-06	1,27E-07	-	-	-	-
Cloreto de potássio	-	-	-	-	-	-	-	2,28E-08	5,43E-07	6,29E-08	-	-	-	-
Minério de metal precioso (ROM)	-	-	-	-	-	-	-	6,52E-07	4,22E-04	8,58E-07	-	-	-	-
Sílica	-	-	-	-	-	-	-	5,35E-04	4,08E-03	0,06	-	-	-	-
Pedra pomes	-	-	-	-	-	-	-	2,43E-08	1,76E-08	5,41E-07	-	-	-	-
Ardósia	-	-	-	-	-	-	-	7,88E-15	1,68E-15	1,70E-15	-	-	-	-
Sal (NaCl)	-	-	-	-	-	-	-	2,81E-04	4,35E-04	1,48E-04	-	-	-	-
Sulfato de sódio	-	-	-	-	-	-	-	2,63E-09	6,59E-09	1,90E-10	-	-	-	-
Solo	-	-	-	-	-	-	-	0,12	1,33	0,04	-	-	-	-
Enxofre	-	-	-	-	-	-	-	1,32E-09	1,07E-08	4,94E-09	-	-	-	-
Talco	-	-	-	-	-	-	-	3,03E-08	4,52E-07	1,40E-07	-	-	-	-
Minério de estanho	-	-	-	-	-	-	-	7,57E-15	1,61E-15	1,64E-15	-	-	-	-
Minério de titânio	-	-	-	-	-	-	-	2,29E-04	2,54E-03	4,07E-04	-	-	-	-
Minério de zinco - cobre (4,07% - 2,59%)	-	-	-	-	-	-	-	2,41E-04	4,78E-03	5,25E-03	-	-	-	-
Minério de zinco - chumbo - cobre (12% - 3% - 2%)	-	-	-	-	-	-	-	3,55E-05	3,55E-03	2,18E-03	-	-	-	-
Minério de zinco - chumbo(4,21% - 4,96%)	-	-	-	-	-	-	-	1,08E-14	3,30E-13	1,97E-14	-	-	-	-
Minério de zinco	-	-	-	-	-	-	-	1,19E-13	7,16E-13	8,34E-13	-	-	-	-
Utilização de Recursos renováveis														
Água	-	-	-	-	-	-	14,72	11.641,07	9,87	89,69	-	-	-	-
Ar	-	-	-	-	-	-	-	1.485,15	1,31	28,18	-	-	-	-
Dióxido de carbono	3.930,11	-	-	-	-	-	-	0,03	4,64E-03	1,35E-02	-	-	-	-
Nitrogênio	-	-	-	-	-	-	-	2,84E-10	9,31E-09	5,43E-09	-	-	-	-
Oxigênio	-	-	-	-	-	-	-	2,79E-03	-	-	-	-	-	-
Substância de Valor	1,14	-	-	63,93	18,54	-	-	-	-	-	2,30	8,06	5,66	84,28
Combustíveis														
Derivados do petróleo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,06	5,66	84,28
Diesel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,06	5,66	84,28
Materiais	1,14	-	-	45,39	18,54	-	-	-	-	-	2,30	-	-	-
Produtos inorgânicos intermediários														
Ácido (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,57	-	-	-
Produtos oriundos de recursos renováveis														
Papel reciclado	-	-	-	-	18,54	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pesticidas	1,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Outros														
Metais (não especificado)	-	-	-	45,39	-	-	-	-	-	-	0,54	-	-	-
Aditivos da produção do aço	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30	-	-	-
Componentes da liga	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	-	-	-

(continua)

Tabela 8.2 Compilação dos resultados do ICV para o cenário madeira:Saídas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg.

	Plantio da madeira	Corte da madeira	Extração da madeira	Fabricação da caixa de madeira	Utilização de fotocopiadora	Uso da caixa de madeira	Disposição em aterro - madeira	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Produção de grampos metálicos	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância)
Bens depositados														
Resíduo radioativo	-	-	-	-	-	-	-	5,04E-04	5,97E-05	7,69E-03	-	-	-	-
Fluoreto de cálcio (baixa radioatividade)	-	-	-	-	-	-	-	2,83E-07	3,35E-08	4,32E-06	-	-	-	-
Resíduo altamente radioativo	-	-	-	-	-	-	-	8,46E-07	1,00E-07	1,29E-05	-	-	-	-
Resíduo médio-pouco radioativo	-	-	-	-	-	-	-	1,00E-06	1,19E-07	1,53E-05	-	-	-	-
Plutônio como produto residual	-	-	-	-	-	-	-	1,68E-09	1,99E-10	2,57E-08	-	-	-	-
Escória radioativa	-	-	-	-	-	-	-	4,96E-04	5,88E-05	7,57E-03	-	-	-	-
Escória da conversão de urânio	-	-	-	-	-	-	-	1,88E-06	2,22E-07	2,86E-05	-	-	-	-
Urânio extraído	-	-	-	-	-	-	-	1,94E-06	2,30E-07	2,96E-05	-	-	-	-
Lixo radioativo	-	-	-	-	-	-	-	1,68E-06	1,99E-07	2,57E-05	-	-	-	-
Resíduos de valor	-	-	-	-	-	-	-	831,27	3,87	24,11	-	-	-	-
Resíduo de demolição	-	-	-	-	-	-	-	0,75	5,91E-05	1,13E-02	-	-	-	-
Excedente de produção	-	-	-	-	-	-	-	830,51	-	23,82	-	-	-	-
Escória (depositada)	-	-	-	-	-	-	-	1,44E-04	3,60E-06	1,38E-03	-	-	-	-
Resíduo orgânico	-	-	-	-	-	-	-	1,06E-02	3,87	0,28	-	-	-	-
Ecoinvent														
Emissão persistente	-	-	-	-	-	-	79,53	-	-	-	-	-	-	-
Água	-	-	-	-	-	-	79,53	-	-	-	-	-	-	-
COD	-	-	-	-	-	-	79,53	-	-	-	-	-	-	-
Emissões ao solo														
Metais pesados														
Arsênico	-	-	-	-	-	-	-	6,72E-11	1,23E-09	7,10E-09	-	-	-	-
Cádmio	-	-	-	-	-	-	-	6,09E-10	1,64E-08	6,43E-08	-	-	-	-
Cromo (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	1,66E-07	1,39E-06	1,78E-05	-	-	-	-
Cromo +III	-	-	-	-	-	-	-	2,35E-11	6,87E-10	4,25E-11	-	-	-	-
Cobalto	-	-	-	-	-	-	-	2,92E-09	1,94E-10	3,18E-07	-	-	-	-
Cobre	-	-	-	-	-	-	-	1,69E-09	3,35E-09	1,83E-07	-	-	-	-
Ferro	-	8,72E-05	1,27E-03	2,08E-04	-	-	-	2,40E-07	7,65E-07	2,61E-05	-	-	-	-
Chumbo	-	-	-	-	-	-	-	7,89E-11	1,33E-09	4,80E-09	-	-	-	-
Manganês	-	1,74E-06	2,53E-05	4,15E-06	-	-	-	3,71E-08	1,98E-06	3,72E-06	-	-	-	-
Mercurio	-	1,42E-10	2,06E-09	3,38E-10	-	-	-	3,53E-12	7,35E-12	3,61E-10	-	-	-	-
Níquel	-	-	-	-	-	-	-	5,73E-08	6,76E-06	5,14E-06	-	-	-	-
Estrôncio	-	-	-	-	-	-	-	5,36E-05	3,54E-06	5,78E-03	-	-	-	-
Zinco	-	7,05E-07	1,03E-05	1,68E-06	-	-	2,35E-05	1,87E-08	3,52E-07	1,98E-06	-	-	-	-
Inorgânicos														
Alumínio +III	-	-	-	-	-	-	-	1,88E-07	3,31E-06	2,01E-05	-	-	-	-
Amônia	-	-	-	-	-	-	-	8,48E-05	3,08E-05	9,16E-03	-	-	-	-
Brometo	-	-	-	-	-	-	-	2,50E-08	1,67E-09	2,73E-06	-	-	-	-
Cálcio	-	1,74E-04	2,53E-03	4,15E-04	-	-	3,19E-04	-	-	-	-	-	-	-
Cálcio +II	-	-	-	-	-	-	-	1,36E-06	8,83E-04	1,86E-06	-	-	-	-
Cloro	-	-	-	-	-	-	5,48E-03	2,92E-05	5,29E-05	3,18E-03	-	-	-	-
Enxofre	-	2,63E-05	3,82E-04	6,27E-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flúor	-	-	-	-	-	-	-	8,33E-07	5,55E-08	9,08E-05	-	-	-	-
Magnésio +II	-	-	-	-	-	-	-	1,88E-07	1,22E-04	2,86E-07	-	-	-	-
Nitrogênio	-	4,37E-06	6,36E-05	1,04E-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fósforo	-	2,24E-06	3,26E-05	5,35E-06	-	-	-	8,72E-06	1,10E-06	9,40E-04	-	-	-	-
Potássio +	-	-	-	-	-	-	-	2,14E-05	2,60E-04	2,30E-03	-	-	-	-
Sódio +	-	-	-	-	-	-	-	1,19E-07	7,72E-05	1,57E-07	-	-	-	-
Sulfato	-	-	-	-	-	-	-	2,73E-06	4,10E-05	2,90E-04	-	-	-	-
Sulfureto	-	-	-	-	-	-	-	1,64E-05	2,46E-04	1,74E-03	-	-	-	-

(continua)

Tabela 8.2 Compilação dos resultados do ICV para o cenário madeira:Saídas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg. (continuação)

	Plantio da madeira	Corte da madeira	Extração da madeira	Fabricação da caixa de madeira	Utilização de fotocopiadora	Uso da caixa de madeira	Disposição em aterro - madeira	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Produção de grampos metálicos	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância)
Emissões ao solo (continuação)														
Orgânicos														
Carbono (não especificado)	-	1,35E-04	1,97E-03	3,23E-04	-	-	2,39E-04	-	-	-	-	-	-	-
Fipronil	3,39E-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Óleos (não especificado)	-	0,03	0,39	0,06	-	-	8,66E-03	1,99E-06	1,37E-07	7,42E-07	-	-	-	-
Outras emissões	2,81E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pesticidas	2,81E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Deltamethrin	1,51E-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Glifosato	2,79E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emissões atmosféricas														
Metais														
Antimônio	-	-	-	-	-	-	-	4,25E-05	1,08E-08	3,35E-08	-	-	-	-
Arsênico	-	-	-	-	-	-	-	1,21E-04	1,02E-08	4,99E-07	-	-	-	-
Tróxido de arsênio	-	-	-	-	-	-	-	4,87E-13	4,86E-13	2,15E-11	-	-	-	-
Cádmio	-	-	-	-	-	-	-	1,22E-05	1,22E-08	1,67E-07	4,95E-07	-	-	-
Cromo (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	8,29E-05	3,92E-08	1,29E-06	3,30E-06	-	-	-
Cromo +III	-	-	-	-	-	-	-	2,57E-09	2,85E-08	4,54E-09	-	-	-	-
Cobalto	-	-	-	-	-	-	-	3,06E-05	2,06E-08	1,67E-06	-	-	-	-
Cobre	-	3,24E-07	4,72E-06	7,75E-07	-	-	-	6,37E-05	1,50E-07	1,29E-06	8,72E-06	-	-	-
Metais pesados	-	-	-	-	-	-	-	5,50E-11	1,52E-10	1,40E-09	-	-	-	-
Arsina	-	-	-	-	-	-	-	4,04E-11	4,04E-11	1,78E-09	-	-	-	-
Ferro	-	3,85E-06	5,61E-05	9,20E-06	-	-	-	2,35E-07	5,98E-08	1,09E-05	-	-	-	-
Lantanídeos	-	-	-	-	-	-	-	4,78E-11	4,32E-11	3,72E-11	-	-	-	-
Chumbo	-	-	-	-	-	-	-	1,15E-04	2,33E-06	3,10E-06	1,56E-04	-	-	-
Manganês	-	-	-	-	-	-	-	8,41E-05	7,74E-07	4,70E-07	5,83E-05	-	-	-
Mercurio	-	-	-	-	-	-	-	8,70E-06	4,42E-08	1,90E-07	4,61E-07	-	-	-
Molibdênio	-	-	-	-	-	-	-	1,50E-08	1,23E-09	8,48E-07	-	-	-	-
Níquel	-	-	-	-	-	-	-	4,87E-05	6,23E-08	1,25E-05	1,03E-05	-	-	-
Paládio	-	-	-	-	-	-	-	2,48E-16	5,27E-17	5,35E-17	-	-	-	-
Ródio	-	-	-	-	-	-	-	2,39E-16	5,09E-17	5,16E-17	-	-	-	-
Selênio	-	-	-	-	-	-	-	4,02E-04	5,12E-08	1,33E-06	-	-	-	-
Prata	-	-	-	-	-	-	-	1,27E-16	8,22E-14	1,67E-16	-	-	-	-
Telúrio	-	-	-	-	-	-	-	3,42E-10	3,79E-09	6,05E-10	-	-	-	-
Tálio	-	-	-	-	-	-	-	2,26E-09	1,99E-08	4,46E-09	1,47E-07	-	-	-
Estanho	-	-	-	-	-	-	-	1,52E-04	2,57E-08	4,34E-07	-	-	-	-
Titânio	-	-	-	-	-	-	-	2,48E-09	2,60E-09	2,05E-09	-	-	-	-
Vanádio	-	-	-	-	-	-	-	5,52E-05	1,38E-07	1,18E-04	3,66E-08	-	-	-
Zinco	-	2,34E-06	3,40E-05	5,59E-06	-	-	6,13E-06	7,34E-04	3,88E-07	3,62E-06	3,79E-06	-	-	-
Inorgânicos														
Amônia	-	6,14E-07	8,93E-06	1,47E-06	-	-	-	5,45E-04	2,61E-06	2,25E-04	3,46E-05	2,41E-04	1,69E-04	2,84E-03
Amônio	-	-	-	-	-	-	-	3,41E-12	2,71E-12	7,91E-11	-	-	-	-
Nitrato de amônia	-	-	-	-	-	-	-	7,74E-12	6,30E-11	2,91E-11	-	-	-	-
Bário	-	-	-	-	-	-	-	6,89E-04	2,28E-07	2,45E-04	-	-	-	-
Berílio	-	-	-	-	-	-	-	4,58E-06	7,71E-09	7,79E-09	-	-	-	-
Compostos de boro	-	-	-	-	-	-	-	1,24E-03	5,74E-07	9,20E-06	-	-	-	-
Bromo	-	-	-	-	-	-	-	1,22E-03	1,34E-07	2,28E-06	-	-	-	-
Dióxido de carbono	-	2,27	33,00	5,41	-	-	21,79	307,87	264,99	29,18	27,81	25,60	17,98	267,57
Dissulfeto de carbono	-	-	-	-	-	-	-	1,40E-08	8,69E-12	4,06E-11	-	-	-	-
Monóxido de carbono	-	0,06	0,91	0,15	-	-	-	0,21	2,55E-03	0,04	0,14	0,06	0,04	0,54
Cloro (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	3,13E-06	1,01E-07	1,12E-04	-	-	-	-

(continua)

Tabela 8.2 Compilação dos resultados do ICV para o cenário madeira:Saídas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg. (continuação)

	Plantio da madeira	Corte da madeira	Extração da madeira	Fabricação da caixa de madeira	Utilização de fotocopiadora	Uso da caixa de madeira	Disposição em aterro - madeira	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Produção de grampos metálicos	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância)
Emissões atmosféricas - Inorgânicos (continuação)														
Cloro (gás)	-	-	-	-	-	-	-	3,77E-10	1,60E-09	2,12E-10	-	-	-	-
Cianeto	-	-	-	-	-	-	-	7,48E-08	2,08E-09	2,74E-06	-	-	-	-
Fluoreto (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	9,88E-08	6,78E-08	1,03E-06	-	-	-	-
Floureto	-	-	-	-	-	-	-	1,35E-06	7,07E-07	5,61E-05	-	-	-	-
Fluor	-	-	-	-	-	-	-	3,63E-11	1,03E-10	3,38E-10	-	-	-	-
Hélio	-	-	-	-	-	-	-	3,22E-07	1,72E-07	2,93E-07	-	-	-	-
Hidrogênio	-	-	-	-	-	-	-	1,85E-05	2,66E-06	1,44E-04	-	-	-	-
Ácido bromídrico	-	-	-	-	-	-	-	8,39E-10	4,15E-10	1,42E-08	-	-	-	-
Ácido clorídrico	-	1,77E-05	2,58E-04	4,24E-05	-	-	-	8,27E-02	9,56E-06	3,00E-04	2,25E-03	-	-	-
Ácido cianídrico	-	-	-	-	-	-	-	7,79E-09	1,23E-08	2,32E-09	-	-	-	-
Ácido fluorídrico	-	2,44E-06	3,55E-05	5,82E-06	-	-	-	1,35E-02	1,30E-06	2,81E-05	2,63E-04	-	-	-
Ácido iodídrico	-	-	-	-	-	-	-	8,62E-13	4,56E-13	1,42E-11	-	-	-	-
Ácido fosfórico	-	-	-	-	-	-	-	1,18E-12	6,41E-10	2,52E-12	-	-	-	-
Ácido sulfídrico	-	2,56E-06	3,73E-05	6,12E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ácido sulfúrico	-	-	-	-	-	-	-	3,82E-05	3,64E-06	6,16E-04	3,63E-05	-	-	-
Dióxido de chumbo	-	-	-	-	-	-	-	1,32E-12	8,58E-10	1,75E-12	-	-	-	-
Nitrogênio (gás)	-	-	-	-	-	-	-	0,05	7,71E-05	5,17E-03	-	-	-	-
Dióxido de nitrogênio	-	-	-	-	-	-	-	1,25E-14	1,07E-09	2,28E-14	-	-	-	-
Monóxido de nitrogênio	-	-	-	-	-	-	-	4,14E-10	1,64E-08	1,19E-09	-	-	-	-
Óxidos de nitrogênio	-	0,03	0,38	0,06	-	-	-	1,07	3,39E-03	0,07	0,06	0,24	0,17	2,39
Óxido nitroso (gás hilarante)	-	-	-	-	-	-	-	3,93E-03	9,11E-06	5,54E-04	1,21E-04	3,91E-04	2,75E-04	4,18E-03
Oxigênio	-	-	-	-	-	-	-	0,03	2,04E-03	1,00E-02	-	-	-	-
Ozônio	-	-	-	-	6,51E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fosfato	-	6,06E-10	8,82E-09	1,45E-09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fósforo	-	6,69E-08	9,73E-07	1,60E-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escândio	-	-	-	-	-	-	-	2,36E-11	2,22E-11	1,85E-11	-	-	-	-
Vapor	-	-	-	-	-	-	-	500,07	0,36	11,32	-	-	-	-
Estrôncio	-	-	-	-	-	-	-	9,44E-10	8,31E-10	7,27E-10	-	-	-	-
Dióxido de enxofre	-	4,05E-03	0,06	9,67E-03	-	-	-	6,30	8,37E-04	0,17	0,06	8,06E-04	5,66E-04	8,43E-03
Hexafluoreto de enxofre	-	-	-	-	-	-	-	9,08E-11	5,85E-08	1,19E-10	-	-	-	-
Ácido sulfúrico	-	-	-	-	-	-	-	1,32E-08	2,93E-08	1,15E-07	-	-	-	-
Óxido de estanho	-	-	-	-	-	-	-	1,15E-13	7,47E-11	1,52E-13	-	-	-	-
Óxido de zinco	-	-	-	-	-	-	-	2,30E-13	1,49E-10	3,04E-13	-	-	-	-
Sulfato de zinco	-	-	-	-	-	-	-	8,51E-10	1,02E-09	4,49E-08	-	-	-	-
Orgânicos														
Grupo NMVOC	-	0,03	0,48	0,08	-	-	-	0,04	2,47E-04	0,08	1,03E-02	1,23E-02	8,64E-03	1,22E-01
Grupo PAH	-	-	-	-	-	-	-	3,63E-06	3,56E-07	2,07E-04	4,56E-07	-	-	-
Antraceno	-	-	-	-	-	-	-	6,05E-11	2,16E-12	8,04E-09	-	-	-	-
Benzo(a)antraceno	-	-	-	-	-	-	-	3,04E-11	1,09E-12	4,05E-09	-	-	-	-
Benzo(a)pireno	-	-	-	-	-	-	-	9,58E-10	1,03E-09	2,31E-09	-	-	-	-
Benzo(ghi)perileno	-	-	-	-	-	-	-	2,72E-11	9,69E-13	3,61E-09	-	-	-	-
Benzofluoranteno	-	-	-	-	-	-	-	5,43E-11	1,94E-12	7,22E-09	-	-	-	-
Chrysene	-	-	-	-	-	-	-	7,48E-11	2,67E-12	9,94E-09	-	-	-	-
1,2,5,6-Dibenzonaftaleno	-	-	-	-	-	-	-	1,69E-11	6,04E-13	2,25E-09	-	-	-	-
Indeno(1,2,3)-cd-pireno	-	-	-	-	-	-	-	2,02E-11	7,21E-13	2,69E-09	-	-	-	-
Naftaleno	-	-	-	-	-	-	-	6,35E-09	2,27E-10	8,45E-07	-	-	-	-
Fenantreno	-	-	-	-	-	-	-	2,00E-09	7,12E-11	2,65E-07	-	-	-	-
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH)	-	-	-	-	-	-	-	3,62E-06	3,55E-07	2,06E-04	4,56E-07	-	-	-
Orgânicos halogenados	-	7,23E-07	1,05E-05	1,73E-06	-	-	-	7,92E-08	2,12E-07	1,75E-06	1,63E-07	-	-	-

(continua)

Tabela 8.2 Compilação dos resultados do ICV para o cenário madeira:Saídas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg. (continuação)

	Plantio da madeira	Corte da madeira	Extração da madeira	Fabricação da caixa de madeira	Utilização de fotocopiadora	Uso da caixa de madeira	Disposição em aterro - madeira	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Produção de grampos metálicos	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância)
Emissões atmosféricas - Orgânicos (continuação)														
1,1,1 - Trichloroetano	-	3,60E-11	5,24E-10	8,60E-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chloroetano	-	2,37E-09	3,44E-08	5,65E-09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dicloroetano (isômeros)	-	1,45E-08	2,11E-07	3,47E-08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diclorometano	-	3,62E-10	5,27E-09	8,65E-10	-	-	-	3,46E-15	7,37E-16	7,47E-16	-	-	-	-
Dioxinas (não especificado)	-	1,53E-13	2,23E-12	3,66E-13	-	-	-	-	-	1,75E-13	-	-	-	-
Hidrocarbonetos halogenados (não especificados)	-	-	-	-	-	-	-	1,73E-15	3,71E-16	4,22E-16	4,76E-09	-	-	-
Halon (1301)	-	2,89E-07	4,21E-06	6,91E-07	-	-	-	-	-	-	1,58E-07	-	-	-
Hexachloroetano	-	1,66E-13	2,41E-12	3,96E-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HFC (não especificado)	-	9,77E-09	1,42E-07	2,33E-08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pentaclorofenol (PCP)	-	4,23E-13	6,16E-12	1,01E-12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bifenol policlorinado (PCB)	-	-	-	-	-	-	-	8,80E-11	1,92E-10	3,92E-09	-	-	-	-
Dibenzo-p-dioxinas policlorinadas (2,3,7,8 - TCDD)	-	-	-	-	-	-	-	1,59E-11	1,74E-11	5,19E-13	-	-	-	-
R 11 (triclorofluorometano)	-	5,14E-10	7,49E-09	1,23E-09	-	-	-	2,66E-08	1,55E-08	2,82E-07	-	-	-	-
R 114 (diclorotetrafluoroetano)	-	1,37E-08	2,00E-07	3,27E-08	-	-	-	2,73E-08	1,59E-08	2,89E-07	-	-	-	-
R 12 (diclorodifluorometano)	-	-	-	-	-	-	-	5,73E-09	3,33E-09	6,07E-08	-	-	-	-
R 13 (clorotrifluorometano)	-	6,96E-11	1,01E-09	1,66E-10	-	-	-	3,60E-09	2,09E-09	3,81E-08	-	-	-	-
R 21 (Diclorofluorometano)	-	3,04E-07	4,42E-06	7,25E-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R 22 (clorodifluorometano)	-	1,28E-10	1,87E-09	3,06E-10	-	-	-	6,26E-09	3,64E-09	6,63E-08	-	-	-	-
Tetrafluorometano	-	8,79E-08	1,28E-06	2,10E-07	-	-	-	3,31E-10	1,48E-07	3,59E-09	-	-	-	-
Cloroetano	-	-	-	-	-	-	-	9,29E-09	2,35E-08	1,01E-06	-	-	-	-
Acetaldeído (etanal)	-	1,55E-05	2,26E-04	3,70E-05	-	-	-	5,68E-07	1,83E-07	1,24E-05	-	-	-	-
Ácido acético	-	-	-	-	-	-	-	2,04E-06	4,64E-08	3,98E-06	-	-	-	-
Acetona (dimetilcetona)	-	-	-	-	-	-	-	5,53E-07	1,62E-07	1,09E-05	-	-	-	-
Acroleína	-	-	-	-	-	-	-	4,27E-10	1,52E-11	5,68E-08	-	-	-	-
Aldeído (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	8,91E-08	1,21E-08	6,45E-08	-	-	-	-
Alcanos (não especificados)	-	-	-	-	-	-	-	3,44E-03	3,33E-07	9,72E-06	-	-	-	-
Alcenos (não especificados)	-	-	-	-	-	-	-	3,44E-03	3,58E-07	7,88E-06	-	-	-	-
Hidrocarbonetos aromáticos (não especificados)	-	-	-	-	-	-	-	1,83E-07	2,11E-09	1,93E-07	1,27E-04	-	-	-
Benzaldeído	-	4,33E-10	6,30E-09	1,03E-09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Benzeno	-	2,43E-04	3,53E-03	5,80E-04	-	-	-	2,99E-06	3,43E-06	1,07E-04	2,25E-05	2,10E-04	1,48E-04	2,08E-03
Butadieno	-	-	-	-	-	-	-	3,33E-12	2,41E-12	7,40E-11	-	-	-	-
Butano	-	5,92E-05	8,62E-04	1,41E-04	-	-	-	1,24E-04	5,46E-06	7,12E-03	-	-	-	-
Butano (n-butano)	-	-	-	-	-	-	-	3,14E-04	1,97E-07	1,64E-05	-	-	-	-
Buteno	-	2,47E-06	3,60E-05	5,91E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ciclohexano	-	-	-	-	-	-	-	3,21E-07	1,99E-10	9,31E-10	-	-	-	-
Dietil-amina	-	-	-	-	-	-	-	8,53E-17	6,78E-17	1,98E-15	-	-	-	-
Etano	1,75E-05	2,54E-04	4,17E-05	4,17E-05	-	-	-	9,64E-04	1,87E-05	1,90E-02	-	-	-	-
Etanol	-	1,31E-07	1,90E-06	3,12E-07	-	-	-	9,33E-07	2,30E-08	1,16E-06	-	-	-	-
Eteno (etileno)	-	3,84E-05	5,60E-04	9,18E-05	-	-	-	3,19E-08	5,42E-08	3,31E-06	-	-	-	-
Acetileno	-	2,91E-08	4,24E-07	6,96E-08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Etilbenzeno	-	-	-	-	-	-	-	3,44E-03	4,98E-07	9,71E-06	-	-	-	-
Fluoranteno	-	-	-	-	-	-	-	1,97E-10	7,03E-12	2,62E-08	-	-	-	-
Fluoreno	-	-	-	-	-	-	-	6,25E-10	2,23E-11	8,31E-08	-	-	-	-
Formaldeído (metanal)	-	7,26E-10	1,06E-08	1,73E-09	-	-	-	9,41E-04	2,16E-07	1,85E-05	-	-	-	-
Heptano (isômeros)	-	1,39E-05	2,02E-04	3,32E-05	-	-	-	4,14E-06	1,63E-07	2,51E-04	-	-	-	-
Hexametileno diamina (HMDA)	-	-	-	-	-	-	-	1,96E-13	1,42E-13	4,35E-12	-	-	-	-
Hexano (isômeros)	-	2,92E-05	4,25E-04	6,98E-05	-	-	-	6,58E-06	3,06E-07	3,73E-04	-	-	-	-
Mercaptanas (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	1,23E-07	2,01E-07	1,34E-05	-	-	-	-
Metanol	-	1,76E-07	2,56E-06	4,19E-07	-	-	-	9,15E-07	1,07E-08	9,67E-07	-	-	-	-

(continua)

Tabela 8.2 Compilação dos resultados do ICV para o cenário madeira:Saídas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg. (continuação)

	Plantio da madeira	Corte da madeira	Extração da madeira	Fabricação da caixa de madeira	Utilização de fotocopiadora	Uso da caixa de madeira	Disposição em aterro - madeira	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Produção de grampos metálicos	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância)
Emissões atmosféricas - Orgânicos (continuação)														
NMVOC (não especificado)	-	0,03	0,44	0,07	-	-	-	9,24E-03	1,85E-04	1,16E-02	0,01	1,20E-02	8,40E-03	1,18E-01
Octano	-	-	-	-	-	-	-	2,28E-06	8,99E-08	1,38E-04	-	-	-	-
Pentano (n-pentano)	-	7,41E-05	1,08E-03	1,77E-04	-	-	-	2,23E-03	2,40E-06	2,41E-03	-	-	-	-
Fenol (hidroxibenzeno)	-	4,90E-07	7,13E-06	1,17E-06	-	-	-	3,31E-11	3,85E-09	1,37E-11	-	-	-	-
Propano	-	5,90E-05	8,58E-04	1,41E-04	-	-	-	1,22E-03	2,63E-05	0,03	-	-	-	-
Propeno (propileno)	-	3,00E-06	4,37E-05	7,17E-06	-	-	-	3,13E-04	3,63E-08	7,08E-07	-	-	-	-
Ácido propanóico	-	-	-	-	-	-	-	8,14E-11	7,49E-11	1,01E-10	-	-	-	-
Estireno	-	-	-	-	-	-	-	3,56E-10	2,21E-13	1,03E-12	-	-	-	-
Tolueno (metilbenzeno)	-	1,09E-03	0,02	2,61E-03	-	-	-	1,56E-03	2,39E-07	8,04E-06	-	4,03E-05	2,83E-05	3,99E-04
Trimetilbenzeno	-	-	-	-	-	-	-	1,12E-12	7,28E-10	1,48E-12	-	-	-	-
Xileno (dimetilbenzeno)	-	1,17E-03	0,02	2,80E-03	-	-	-	1,44E-02	1,63E-06	3,62E-05	-	1,01E-04	7,08E-05	9,97E-04
Monóxido de nitrogênio	-	7,88E-05	1,15E-03	1,88E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alcanos (não especificados)	-	2,02E-04	2,93E-03	4,82E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alcenos (não especificados)	-	2,27E-05	3,30E-04	5,41E-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos aromáticos	-	2,29E-06	3,34E-05	5,48E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metano	-	3,94E-03	0,06	9,42E-03	-	-	1,82	0,63	0,00	0,36	0,07	3,03E-04	2,13E-04	2,99E-03
Compostos orgânicos clorados	-	-	-	-	-	-	-	3,87E-12	3,15E-11	1,45E-11	-	-	-	-
COV (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	1,09E-06	6,04E-07	5,85E-05	-	-	-	-
Outras emissões														
Exaustão	-	-	-	-	-	-	-	1.238,19	1,12	19,61	-	-	-	-
Energia eólica não utilizada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energia solar não utilizada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ar usado	-	-	-	-	-	-	-	0,64	1,13E-02	0,05	-	-	-	-
Perda de calor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Material particulado														
Material particulado (>MP10 - Diâmetro aerodinâmico > 10 mm)	-	3,93E-04	5,71E-03	9,37E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Material particulado (>MP10 - Diâmetro aerodinâmico > 10 mm)	-	-	-	-	-	-	-	0,06	3,64E-06	9,53E-04	-	-	-	-
Material particulado (MP2,5 - 10 - Diâmetro aerodinâmico entre 2,5 e 10 mm)	-	3,68E-03	0,05	8,80E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Material particulado (<MP2,5 - Diâmetro aerodinâmico < 2,5 mm)	-	-	-	-	-	-	-	0,48	2,46E-05	1,01E-03	-	6,33E-03	4,45E-03	6,09E-02
Material particulado (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	0,06	4,53E-04	1,23E-03	0,02	-	-	-
Metais (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	3,98E-11	2,32E-11	4,97E-11	6,12E-04	-	-	-
Serragem	-	-	-	-	-	-	-	4,25E-11	2,76E-08	5,61E-11	-	-	-	-
Radioativos														
Antimônio (Sb124)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argônio (Ar41)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbono (C14)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Césio (Cs134)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Césio (Cs137)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobalto (Co58)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobalto (Co60)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidrogenio (H3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Iodo (I129)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Iodo (I131)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Criptônio (Kr85)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Criptônio (Kr85m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plutônio (Pu alpha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Radon (Rn222)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Urânio (total)	-	-	-	-	-	-	-	3,32E-08	2,28E-08	3,47E-07	-	-	-	-
Urânio (U234)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(continua)

Tabela 8.2 Compilação dos resultados do ICV para o cenário madeira:Saídas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg. (continuação)

	Plantio da madeira	Corte da madeira	Extração da madeira	Fabricação da caixa de madeira	Utilização de fotocopiadora	Uso da caixa de madeira	Disposição em aterro - madeira	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Produção de grampos metálicos	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância)
Emissões atmosféricas - Radioativos (continuação)														
Urânio (U235)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Urânio (U238)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Xenônio (Xe131m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Xenônio (Xe133)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Xenônio (Xe133m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Xenônio (Xe135)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Xenônio (Xe135m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Xenônio (Xe137)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Xenônio (Xe138)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emissões aos corpos d'água														
Análises														
Compostos orgânicos halogenados adsorvíveis (AOX)	-	-	-	-	-	-	-	1,28E-06	8,14E-08	1,12E-04	4,84E-08	-	-	-
DBO	-	-	-	-	-	-	20,63	1,25E-05	6,96E-06	6,01E-04	7,72E-05	-	-	-
DQO	-	1,42E-04	2,06E-03	3,38E-04	-	-	87,40	0,55	6,13E-03	1,16E-02	2,10E-04	-	-	-
SST	-	-	-	-	-	-	-	4,82E-06	7,01E-06	5,06E-05	-	-	-	-
COD	-	-	-	-	-	-	-	8,89E-14	2,15E-08	2,01E-12	8,16E-07	-	-	-
COT	-	7,34E-04	1,07E-02	1,75E-03	-	-	79,53	4,92E-05	4,66E-05	1,18E-03	6,29E-05	-	-	-
Metais														
Antimônio	-	-	-	-	-	-	-	2,19E-13	1,42E-10	2,89E-13	-	-	-	-
Arsênico	-	-	-	-	-	-	-	1,25E-06	2,49E-08	3,72E-05	5,63E-07	-	-	-
Cádmio	-	-	-	-	-	-	-	6,88E-06	2,57E-07	1,73E-05	1,55E-08	-	-	-
Cromo (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	2,08E-06	3,91E-08	5,34E-05	4,63E-06	-	-	-
Cromo +III	-	-	-	-	-	-	-	1,36E-08	3,34E-06	8,91E-08	-	-	-	-
Cromo +VI	-	6,96E-11	1,01E-09	1,66E-10	-	-	-	1,38E-15	3,54E-14	2,49E-15	-	-	-	-
Cobalto	-	-	-	-	-	-	-	3,63E-07	1,15E-08	1,79E-05	-	-	-	-
Cobre	-	6,35E-07	9,25E-06	1,52E-06	-	-	-	2,21E-06	6,10E-08	5,99E-05	1,51E-06	-	-	-
Metais pesados	-	-	-	-	-	-	-	7,85E-09	1,88E-08	8,90E-09	-	-	-	-
Ferro	-	8,31E-05	1,21E-03	1,98E-04	-	-	-	8,88E-04	3,94E-04	2,43E-03	2,82E-04	-	-	-
Chumbo	-	-	-	-	-	-	-	5,45E-07	7,36E-08	1,36E-05	1,50E-06	-	-	-
Manganês	0,00E+00	4,27E-06	6,21E-05	1,02E-05	-	-	-	1,19E-04	2,89E-07	2,68E-05	-	-	-	-
Mercurio	-	-	-	-	-	-	-	8,40E-09	3,85E-10	3,05E-07	7,15E-09	-	-	-
Molibdênio	-	-	-	-	-	-	-	1,02E-07	5,15E-08	2,06E-06	-	-	-	-
Níquel	-	-	-	-	-	-	-	1,28E-05	3,00E-08	2,81E-05	1,52E-06	-	-	-
Selênio	-	-	-	-	-	-	-	3,43E-08	9,51E-09	1,40E-06	-	-	-	-
Prata	-	-	-	-	-	-	-	2,76E-09	2,11E-10	1,11E-09	-	-	-	-
Estrôncio	-	2,27E-04	3,30E-03	5,41E-04	-	-	-	5,98E-04	7,64E-07	6,52E-04	-	-	-	-
Tálio	-	-	-	-	-	-	-	1,72E-11	1,80E-11	7,53E-10	-	-	-	-
Estanho	-	-	-	-	-	-	-	1,07E-07	5,15E-08	2,17E-06	-	-	-	-
Titânio	-	-	-	-	-	-	-	1,43E-08	6,60E-08	9,87E-08	-	-	-	-
Vanádio	-	-	-	-	-	-	-	3,01E-07	3,15E-08	1,38E-05	-	-	-	-
Zinco	-	2,45E-06	3,56E-05	5,84E-06	-	-	2,50E-05	1,93E-05	2,93E-07	3,66E-04	2,82E-06	-	-	-
Inorgânicos														
Ácidos (calculados como H+)	-	-	-	-	-	-	-	-	3,72E-08	7,83E-07	-	-	-	-
Alumínio	-	1,00E-04	1,46E-03	2,40E-04	-	-	-	1,21E-04	1,74E-06	2,70E-05	2,81E-04	-	-	-
Amônia	-	-	-	-	-	-	-	5,10E-07	4,57E-07	1,68E-07	-	-	-	-
Amônio	-	6,09E-05	8,87E-04	1,46E-04	-	-	-	3,98E-04	1,66E-06	4,30E-04	2,34E-06	-	-	-
Bário	-	4,82E-04	7,02E-03	1,15E-03	-	-	-	2,25E-05	5,22E-07	8,18E-04	2,45E-05	-	-	-
Berílio	-	-	-	-	-	-	-	2,08E-08	7,15E-10	1,03E-06	-	-	-	-
Boro	-	-	-	-	-	-	-	1,01E-06	1,42E-07	2,05E-06	-	-	-	-

(continua)

Tabela 8.2 Compilação dos resultados do ICV para o cenário madeira:Saídas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg. (continuação)

	Plantio da madeira	Corte da madeira	Extração da madeira	Fabricação da caixa de madeira	Utilização de fotocopiadora	Uso da caixa de madeira	Disposição em aterro - madeira	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Produção de grampos metálicos	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância)
Emissões aos corpos d'água - Inorgânicos (continuação)														
Bromo	-	-	-	-	-	-	-	3,09E-10	2,01E-11	3,28E-08	-	-	-	-
Cálcio	-	1,52E-03	0,02	3,64E-03	-	-	-	1,61E-04	6,81E-05	3,60E-04	-	-	-	-
Carbonato	-	-	-	-	-	-	-	1,41E-03	3,27E-05	0,05	-	-	-	-
Cloro	-	0,02	0,33	0,05	-	-	-	0,75	4,22E-03	4,11	3,10E-03	-	-	-
Cloro (dissolvido)	-	-	-	-	-	-	-	3,57E-06	2,43E-06	3,88E-05	-	-	-	-
Cianeto	-	-	-	-	-	-	-	1,81E-08	1,38E-09	5,63E-07	6,05E-09	-	-	-
Fluoreto	-	-	-	-	-	-	-	7,49E-04	6,00E-05	9,58E-04	-	-	-	-
Flúor	-	-	-	-	-	-	-	1,01E-08	1,54E-08	2,43E-07	-	-	-	-
Ácido clorídrico	-	-	-	-	-	-	-	2,59E-09	2,87E-08	4,60E-09	-	-	-	-
Ácido fluorídrico	-	-	-	-	-	-	-	3,81E-10	1,73E-09	4,12E-08	-	-	-	-
Ácido sulfídrico	-	5,65E-08	8,22E-07	1,35E-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidróxido	-	-	-	-	-	-	-	6,72E-08	3,67E-06	1,23E-07	-	-	-	-
Sais e ácidos inorgânicos (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,60E-03	-	-	-
Magnésio	-	1,40E-04	2,03E-03	3,34E-04	-	-	-	3,21E-05	4,34E-06	1,52E-04	-	-	-	-
Cloreto de magnésio	-	-	-	-	-	-	-	6,73E-11	1,43E-11	1,46E-11	-	-	-	-
Sais neutros	-	-	-	-	-	-	-	-	2,16E-12	-	-	-	-	-
Nitrato	-	3,46E-05	5,03E-04	8,26E-05	-	-	-	1,72E-04	3,52E-06	1,07E-04	3,36E-06	-	-	-
Nitrito	-	7,04E-08	1,03E-06	1,68E-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio	-	-	-	-	-	-	-	4,42E-08	6,02E-07	8,00E-08	1,27E-06	-	-	-
Nitrogênio (como N total)	-	9,14E-05	1,33E-03	2,18E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio orgânico	-	1,28E-05	1,87E-04	3,06E-05	-	-	-	1,89E-05	5,82E-07	6,04E-04	1,89E-07	-	-	-
Fosfato	-	1,90E-05	2,76E-04	4,54E-05	-	-	-	1,67E-06	2,03E-07	5,65E-05	3,08E-05	-	-	-
Fósforo	-	1,87E-08	2,73E-07	4,47E-08	-	-	-	4,32E-07	4,61E-08	4,52E-05	-	-	-	-
Potássio	-	2,13E-04	3,10E-03	5,09E-04	-	-	-	2,82E-07	2,72E-07	1,41E-05	-	-	-	-
Silicatos	-	-	-	-	-	-	-	7,33E-13	1,44E-10	9,84E-10	-	-	-	-
Sódio	-	1,25E-02	0,18	0,03	-	-	-	0,03	4,25E-04	1,20E-02	-	-	-	-
Sal (NaCl)	-	-	-	-	-	-	-	-	4,11E-07	-	-	-	-	-
Hipoclorito de sódio	-	-	-	-	-	-	-	1,76E-10	1,71E-08	8,41E-11	-	-	-	-
Sulfato	-	2,68E-03	0,04	6,41E-03	-	-	-	0,05	9,68E-04	0,05	1,93E-03	-	-	-
Sulfureto	-	1,19E-06	1,73E-05	2,85E-06	-	-	-	2,58E-04	5,95E-06	9,43E-03	2,72E-08	-	-	-
Sulfito	-	-	-	-	-	-	-	2,61E-07	3,99E-08	6,21E-07	-	-	-	-
Enxofre	-	-	-	-	-	-	-	1,15E-07	1,97E-10	1,01E-09	-	-	-	-
Trióxido de enxofre	-	3,97E-07	5,78E-06	9,48E-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ácido sulfúrico	-	-	-	-	-	-	-	3,34E-07	3,69E-06	5,93E-07	-	-	-	-
Orgânicos														
Orgânicos halogenados	-	1,11E-10	1,62E-09	2,65E-10	-	-	-	8,51E-09	7,35E-09	1,21E-08	1,83E-07	-	-	-
1,2-Dibromoetano	-	-	-	-	-	-	-	7,55E-11	4,68E-14	2,19E-13	-	-	-	-
Hidrocarbonetos clorados (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	1,11E-14	7,94E-16	1,48E-14	1,83E-07	-	-	-
Clorometano	-	-	-	-	-	-	-	8,43E-09	6,74E-09	1,21E-08	-	-	-	-
Dicloropropano	-	-	-	-	-	-	-	1,57E-16	1,14E-16	3,50E-15	-	-	-	-
Dibenzo-p-dioxinas policlorinadas (2,3,7,8 - TCDD)	-	-	-	-	-	-	-	8,29E-21	1,77E-21	1,79E-21	-	-	-	-
R 12 (diclorodifluorometano)	-	1,11E-10	1,62E-09	2,65E-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloroetano	-	-	-	-	-	-	-	-	6,16E-10	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos	-	8,90E-04	1,29E-02	2,12E-03	-	-	-	1,33E-04	2,35E-04	6,90E-04	2,48E-05	-	-	-
Acenaftaleno	-	-	-	-	-	-	-	1,56E-08	6,48E-10	1,15E-06	-	-	-	-
Acenafetileno	-	-	-	-	-	-	-	5,98E-09	2,47E-10	4,37E-07	-	-	-	-
Ácido acético	-	-	-	-	-	-	-	7,10E-07	1,02E-07	2,17E-04	-	-	-	-
Acrlonitrilo	-	-	-	-	-	-	-	1,15E-11	8,32E-12	2,56E-10	-	-	-	-
Antraceno	-	-	-	-	-	-	-	1,15E-08	3,34E-10	5,76E-07	-	-	-	-

(continua)

Tabela 8.2 Compilação dos resultados do ICV para o cenário madeira:Saídas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg. (continuação)

	Plantio da madeira	Corte da madeira	Extração da madeira	Fabricação da caixa de madeira	Utilização de fotocopiadora	Uso da caixa de madeira	Disposição em aterro - madeira	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Produção de grampos metálicos	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância)
Emissões aos corpos d'água - Orgânicos (continuação)														
Hidrocarbonetos aromáticos (não especificados)	-	-	-	-	-	-	-	1,68E-07	5,39E-09	7,15E-06	7,97E-07	-	-	-
Benzeno	-	-	-	-	-	-	-	6,00E-06	1,39E-07	2,00E-04	-	-	-	-
Benzo(a)antraceno	-	-	-	-	-	-	-	3,51E-09	1,49E-10	2,65E-07	-	-	-	-
Benzofluoranteno	-	-	-	-	-	-	-	3,75E-09	3,73E-09	6,45E-09	-	-	-	-
Criseno	-	-	-	-	-	-	-	1,95E-08	1,92E-08	4,08E-08	-	-	-	-
Cresol (metilfenol)	-	-	-	-	-	-	-	2,08E-09	9,08E-10	9,16E-10	-	-	-	-
Etilbenzeno	-	-	-	-	-	-	-	5,29E-07	4,47E-07	3,78E-06	-	-	-	-
Ácidos graxos (calculados como C total)	-	1,88E-04	2,74E-03	4,49E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluoranteno	-	-	-	-	-	-	-	4,00E-09	1,71E-10	3,04E-07	-	-	-	-
Hexano (isômeros)	-	-	-	-	-	-	-	1,29E-10	5,39E-11	1,23E-12	-	-	-	-
Hidrocarbonetos (não especificados)	-	-	-	-	-	-	-	1,07E-07	1,42E-07	4,01E-07	-	-	-	-
Metanol	-	-	-	-	-	-	-	1,18E-04	3,40E-07	5,93E-06	-	-	-	-
Óleos (não especificado)	-	6,89E-04	1,00E-02	1,65E-03	-	-	-	4,32E-05	1,35E-06	1,87E-03	2,38E-05	-	-	-
Fenol (hidroxibenzeno)	-	4,81E-06	7,00E-05	1,15E-05	-	-	-	9,67E-06	2,64E-07	3,97E-04	1,24E-07	-	-	-
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH)	-	-	-	-	-	-	-	4,21E-07	2,34E-04	6,03E-07	1,07E-08	-	-	-
Tolueno (metilbenzeno)	-	4,05E-06	5,90E-05	9,67E-06	-	-	-	3,50E-06	8,41E-08	1,13E-04	1,06E-07	-	-	-
Xileno (dimetilbenzeno)	-	3,50E-06	5,09E-05	8,35E-06	-	-	-	3,14E-06	3,13E-07	9,39E-05	-	-	-	-
COT	-	-	-	-	-	-	-	-	5,36E-09	4,87E-04	-	-	-	-
Alcenos (não especificados)	-	4,45E-07	6,48E-06	1,06E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos aromáticos	-	2,22E-05	3,23E-04	5,31E-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos (não especificados)	-	1,95E-07	2,84E-06	4,67E-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Naftaleno	-	-	-	-	-	-	-	5,84E-07	2,12E-08	3,72E-05	-	-	-	-
Compostos orgânicos clorados	-	-	-	-	-	-	-	3,89E-12	3,16E-11	1,45E-11	-	-	-	-
Compostos orgânicos dissolvidos	-	-	-	-	-	-	-	-	3,43E-09	-	-	-	-	-
Compostos orgânicos (não especificados)	-	-	-	-	-	-	-	6,54E-23	7,78E-22	1,19E-22	-	-	-	-
Outras emissões														
Energia hidrelétrica não utilizada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energia geotérmica não utilizada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perda de calor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Material particulado	-	2,02E-03	0,03	4,82E-03	-	-	-	0,07	3,14E-04	0,39	1,50E-04	-	-	-
Metais (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	1,53E-10	1,09E-09	1,92E-10	3,39E-05	-	-	-
Perda de solo por erosão	-	-	-	-	-	-	-	-	5,15E-08	7,89E-07	-	-	-	-
SST	-	2,02E-03	0,03	4,82E-03	-	-	-	6,76E-02	3,34E-04	0,39	1,17E-04	-	-	-
Emissões radioativas														
Americio (Am241)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Antimônio (Sb124)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Antimônio (Sb125)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbono (C14)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Césio (Cs134)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Césio (Cs137)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobalto (Co58)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobalto (Co60)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cúrio (Cm alpha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidrogênio (H3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Iodo (I129)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Iodo (I131)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Manganês (Mn54)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plutônio (Pu alpha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rádio (Ra226)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(continua)

Tabela 8.3 Compilação dos resultados do ICV para o cenário PO:Entradas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg.

	Plantio da madeira	Extração de madeira	Disposição de madeira em aterro	Produção de celulose	Produção de papel Kraft	Produção de papel reciclado	Produção de chapas e caixas em PO	Disposição PO em aterro	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância 1)	Transporte em caminhão (longa distância 2)	Produção de amido	Produção de sulfato de alumínio
Produção de resíduos no ciclo de vida																	
Papelão ondulado	-	-	-	-	-	-	-	480,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Excedente de produção	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07	-	-	-	-	-	-	-
Resíduo de madeira para compostagem	-	-	-	63,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilização de recursos energéticos não renováveis																	
Petróleo - Brasil	-	3,81	-	-	-	-	-	2,47	2,50	0,08	10,60	-	-	-	-	-	-
Carvão - antracito	-	-	-	-	-	-	-	0,15	145,28	0,08	0,05	-	-	-	-	-	-
Carvão - lignito	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,27	0,13	-	-	-	-	-	-
Gás natural	-	-	-	-	-	-	1,83	0,45	1,38	0,02	0,54	-	-	-	-	2,20	-
Metano Pit	-	-	-	-	-	-	-	-	1,06	1,20E-03	6,54E-04	-	-	-	-	-	-
Urânio	-	-	-	-	-	-	-	-	4,73E-06	3,24E-06	3,97E-06	-	-	-	-	-	-
Utilização de recursos energéticos renováveis																	
Madeira	-	759,77	-	-	-	-	-	-	3,80E-04	7,45E-04	1,23E-05	-	-	-	-	-	-
Madeira (BUWAL)	-	-	-	-	-	-	-	1,45E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Madeira para polpa	-	-	-	1.007,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recursos materiais	23,93	-	152,85	24,36	3.930,11	13.958,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilização de elementos não renováveis																	
Ferro	-	-	-	-	-	-	-	-	7,64E-11	6,17E-10	2,29E-11	-	-	-	-	-	-
Chumbo	-	-	-	-	-	-	-	-	1,04E-15	2,22E-16	1,81E-17	-	-	-	-	-	-
Enxofre	-	-	-	-	-	-	-	-	3,16E-09	2,71E-08	9,47E-10	-	-	-	-	-	-
Utilização de recursos não renováveis																	
Sulfato de bário	-	-	-	-	-	-	-	-	1,07E-13	2,28E-14	1,85E-15	-	-	-	-	-	-
Basalto	-	-	-	-	-	-	-	-	7,32E-03	3,48E-04	1,99E-05	-	-	-	-	-	-
Bauxita	-	-	-	-	-	-	-	-	1,36E-04	6,67E-03	2,30E-05	-	-	-	-	-	-
Bentonita	-	-	-	-	-	-	-	-	3,79E-03	2,51E-03	1,57E-02	-	-	-	-	-	-
Cloreto de cálcio	-	-	-	-	-	-	-	-	1,10E-11	2,33E-12	1,90E-13	-	-	-	-	-	-
Minério de cromo	-	-	-	-	-	-	-	-	1,25E-05	2,29E-03	2,63E-06	-	-	-	-	-	-
Argila	-	-	-	-	-	-	-	-	6,26E-03	0,07	4,41E-03	-	-	-	-	-	-
Minério de colemanita	-	-	-	-	-	-	-	-	1,86E-07	6,11E-07	3,07E-07	-	-	-	-	-	-
Minério de cobre - ouro - prata (1,0% Cu; 0,4 g/t Au; 66 g/t Ag)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	-	-	-	-	-	-	-
Minério de cobre - ouro - prata (1,1% Cu; 0,01 g/t Au; 2,86 g/t Ag)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-
Minério de cobre - ouro - prata (1,16% Cu; 0,002 g/t Au; 1,06 g/t Ag)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,63E-03	-	-	-	-	-	-	-
Minério de cobre - molibdênio - ouro - prata (1,13% Cu; 0,02% Mo; 0,01 g/t Au; 2,86 g/t Ag)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-
Minério de cobre (0,14%)	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15E-04	8,30E-05	7,61E-05	-	-	-	-	-	-
Minério de cobre (1,2%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,60E-03	-	-	-	-	-	-	-
Minério de cobre (4%)	-	-	-	-	-	-	-	-	3,88E-14	1,18E-12	5,68E-15	-	-	-	-	-	-
Minério de cobre	-	-	-	-	-	-	-	-	4,61E-11	1,40E-09	6,74E-12	-	-	-	-	-	-
Dolomita	-	-	-	-	-	-	-	-	7,88E-07	4,24E-08	4,07E-08	-	-	-	-	-	-
Ferro manganês	-	-	-	-	-	-	-	-	5,22E-16	1,11E-16	9,04E-18	-	-	-	-	-	-
Fluorita	-	-	-	-	-	-	-	-	4,81E-08	4,33E-05	4,30E-08	-	-	-	-	-	-
Cascalho	-	-	11,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gesso	-	-	-	-	-	-	-	-	4,05E-03	0,04	5,74E-04	-	-	-	-	-	-

(continua)

Tabela 8.3 Compilação dos resultados do ICV para o cenário PO:Entradas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg. (continuação)

	Plantio da madeira	Extração de madeira	Disposição de madeira em aterro	Produção de celulose	Produção de papel Kraft	Produção de papel reciclado	Produção de chapas e caixas em PO	Disposição PO em aterro	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância 1)	Transporte em caminhão (longa distância 2)	Produção de amido	Produção de sulfato de alumínio
Utilização de recursos não renováveis (continuação)																	
Barita	-	-	-	-	-	-	-	-	8,75E-03	3,77E-04	0,04	-	-	-	-	-	-
Rocha inerte	-	-	-	-	-	-	-	-	1.018,03	2,78	2,42	-	-	-	-	-	-
Minério de ferro	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,07	0,01	-	-	-	-	-	-
Minério de ferro (65%)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,70E-05	6,16E-05	1,48E-06	-	-	-	-	-	-
Minério de caulim	-	-	-	-	-	-	-	-	3,07E-07	2,80E-07	5,47E-07	-	-	-	-	-	-
Minério de chumbo - zinco (4,6% - 0,6%)	-	-	-	-	-	-	-	-	5,59E-04	9,37E-04	3,06E-03	-	-	-	-	-	-
Carbonato de cálcio	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	1,91	0,03	-	-	-	-	-	-
Carbonato de magnésio	-	-	-	-	-	-	-	-	7,77E-08	1,34E-06	1,13E-08	-	-	-	-	-	-
Cloreto de magnésio lixiviado (40%)	-	-	-	-	-	-	-	-	3,96E-04	3,08E-04	9,57E-04	-	-	-	-	-	-
Minério de manganês	-	-	-	-	-	-	-	-	2,40E-06	5,16E-04	5,04E-07	-	-	-	-	-	-
Minério de manganês (ROM)	-	-	-	-	-	-	-	-	3,10E-07	1,12E-03	1,20E-04	-	-	-	-	-	-
Dissulfeto de molibdênio (Mo 0,24%)	-	-	-	-	-	-	-	-	4,21E-08	1,28E-02	7,29E-10	-	-	-	-	-	-
Agregado natural	-	-	-	-	-	-	-	-	0,78	8,98	9,79E-03	-	-	-	-	-	-
Minério de níquel	-	-	-	-	-	-	-	-	5,20E-10	1,75E-09	8,50E-10	-	-	-	-	-	-
Minério de níquel (1,6%)	-	-	-	-	-	-	-	-	9,61E-06	8,63E-03	4,23E-04	-	-	-	-	-	-
Olivina	-	-	-	-	-	-	-	-	5,74E-15	1,22E-15	9,95E-17	-	-	-	-	-	-
Turfa	-	-	-	-	-	-	-	-	4,15E-05	1,00E-05	2,08E-05	-	-	-	-	-	-
Minério de fósforo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,34E-07	2,87E-07	-	-	-	-	-	-
Minerais fosfatados	-	-	-	-	-	-	-	-	1,04E-07	3,22E-06	1,25E-08	-	-	-	-	-	-
Cloreto de potássio	-	-	-	-	-	-	-	-	2,79E-08	6,65E-07	6,18E-09	-	-	-	-	-	-
Minério de metal precioso (ROM)	-	-	-	-	-	-	-	-	7,98E-07	5,17E-04	8,43E-08	-	-	-	-	-	-
Sílica	-	-	-	-	-	-	-	-	6,55E-04	5,00E-03	5,43E-03	-	-	-	-	-	-
Pedra pomes	-	-	-	-	-	-	-	-	2,98E-08	2,16E-08	5,31E-08	-	-	-	-	-	-
Ardósia	-	-	-	-	-	-	-	-	9,66E-15	2,06E-15	1,67E-16	-	-	-	-	-	-
Sal (NaCl)	-	-	-	-	-	-	-	-	3,44E-04	5,33E-04	1,45E-05	-	-	-	-	-	-
Sulfato de sódio	-	-	-	2,37	-	-	-	-	3,22E-09	8,08E-09	1,87E-11	-	-	-	-	-	-
Solo	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14	1,63	4,00E-03	-	-	-	-	-	-
Enxofre	-	-	-	-	-	-	-	-	1,61E-09	1,31E-08	4,85E-10	-	-	-	-	-	-
Talco	-	-	-	-	-	-	-	-	3,71E-08	5,54E-07	1,37E-08	-	-	-	-	-	-
Minério de estanho	-	-	-	-	-	-	-	-	9,28E-15	1,98E-15	1,61E-16	-	-	-	-	-	-
Minério de titânio	-	-	-	-	-	-	-	-	2,81E-04	3,11E-03	4,00E-05	-	-	-	-	-	-
Minério de zinco - cobre (4,07% - 2,59%)	-	-	-	-	-	-	-	-	2,96E-04	5,85E-03	5,16E-04	-	-	-	-	-	-
Minério de zinco - chumbo - cobre (12% - 3% - 2%)	-	-	-	-	-	-	-	-	4,35E-05	4,35E-03	2,14E-04	-	-	-	-	-	-
Minério de zinco - chumbo(4,21% - 4,96%)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,33E-14	4,04E-13	1,94E-15	-	-	-	-	-	-
Minério de zinco	-	-	-	-	-	-	-	-	1,45E-13	8,78E-13	8,19E-14	-	-	-	-	-	-
Utilização de recursos renováveis																	
Água	-	-	1,18	-	0,01	-	107,25	0,00	14,261,54	12,10	8,81	-	-	-	-	-	-
Ar	-	-	-	-	-	-	-	-	1,819,47	1,61	2,77	-	-	-	-	-	-
Dióxido de carbono	1,38E+03	-	-	-	-	-	-	-	0,04	5,68E-03	1,33E-03	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	-	3,48E-10	1,14E-08	5,33E-10	-	-	-	-	-	-
Oxigênio	-	-	-	-	-	-	-	-	3,41E-03	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilização de Combustíveis																	
Diesel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	2,96	4,37	1,85	-	-

(continua)

Tabela 8.3 Compilação dos resultados do ICV para o cenário PO:Entradas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg. (continuação)

	Plantio da madeira	Extração de madeira	Disposição de madeira em aterro	Produção de celulose	Produção de papel Kraft	Produção de papel reciclado	Produção de chapas e caixas em PO	Disposição PO em aterro	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância 1)	Transporte em caminhão (longa distância 2)	Produção de amido	Produção de sulfato de alumínio
Produtos inorgânicos intermediários																	
Hidróxido de alumínio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,52
Sulfato de alumínio	-	-	-	-	22,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Óxido de cálcio	-	-	-	48,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bórax	-	-	-	-	-	-	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bisulfito de sódio	-	-	-	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidróxido de sódio (100%)	-	-	-	3,93	-	-	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dióxido de enxofre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ácido sulfúrico (100%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,03
Produtos oriundos de recursos renováveis																	
Papeão ondulado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fibras de papel reciclado	-	-	-	-	317,51	802,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cola	-	-	-	-	-	8,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Papel reciclado	-	-	-	-	-	-	865,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Papel Kraft	-	-	-	-	-	-	512,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pesticidas	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Celulose	-	-	-	-	198,42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amido	-	-	-	-	2,80	43,26	16,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Outros																	
Rocha calcárea	-	-	-	-	-	-	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Água de processo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,52
Óleo BPF (baixo ponto de fusão)	-	-	-	1,78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caixa de PO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Batatas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	314,30	-

Tabela 8.4 Compilação dos resultados do ICV para o cenário PO:Saídas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg.

	Plantio da madeira	Extração de madeira	Disposição de madeira em aterro	Produção de celulose	Produção de papel Kraft	Produção de papel reciclado	Produção de chapas e caixas em PO	Disposição PO em aterro	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância 1)	Transporte em caminhão (longa distância 2)	Produção de amido	Produção de sulfato de alumínio
Bens depositados																	
Resíduo de valor	-	-	-	-	-	-	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resíduo industrial	-	-	-	-	-	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resíduo municipal	-	-	-	-	-	-	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resíduo radioativo	-	-	-	-	-	-	-	-	6,18E-04	7,31E-05	7,55E-04	-	-	-	-	-	-
Fluoreto de cálcio (baixa radioatividade)	-	-	-	-	-	-	-	-	3,47E-07	4,11E-08	4,24E-07	-	-	-	-	-	-
Resíduo altamente radioativo	-	-	-	-	-	-	-	-	1,04E-06	1,23E-07	1,27E-06	-	-	-	-	-	-
Resíduo médio-pouco radioativo	-	-	-	-	-	-	-	-	1,23E-06	1,46E-07	1,50E-06	-	-	-	-	-	-
Plutônio como produto residual	-	-	-	-	-	-	-	-	2,06E-09	2,44E-10	2,52E-09	-	-	-	-	-	-
Escória radioativa	-	-	-	-	-	-	-	-	6,08E-04	7,20E-05	7,44E-04	-	-	-	-	-	-
Escória da conversão de urânio	-	-	-	-	-	-	-	-	2,30E-06	2,72E-07	2,81E-06	-	-	-	-	-	-
Urânio extraído	-	-	-	-	-	-	-	-	2,38E-06	2,82E-07	2,91E-06	-	-	-	-	-	-
Lixo radioativo	-	-	-	-	-	-	-	-	2,06E-06	2,44E-07	2,52E-06	-	-	-	-	-	-
Resíduos de valor	-	-	-	-	-	-	1,08	-	1.018,39	4,74	2,37	-	-	-	-	-	-
Resíduo de demolição	-	-	-	-	-	-	-	-	0,92	7,24E-05	1,11E-03	-	-	-	-	-	-
Excedente de produção	-	-	-	-	-	-	-	-	1.017,46	-	2,34	-	-	-	-	-	-
Resíduo têxtil contaminado	-	-	-	-	-	-	1,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escória (depositada)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,76E-04	4,41E-06	1,36E-04	-	-	-	-	-	-
Resíduo orgânico	-	-	-	-	-	-	-	-	1,30E-02	4,74	0,03	-	-	-	-	-	-
Ecoinvent																	
Ar	-	-	-	-	835,66	13,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dióxido de carbono (biótico)	-	-	-	-	835,66	13,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emissão persistente	-	-	6,39	-	-	-	-	1,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Água	-	-	6,39	-	-	-	-	1,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amônia	-	-	-	-	-	-	-	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
COD	-	-	6,39	-	-	-	-	6,34E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
COT	-	-	-	-	-	-	-	1,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emissões ao solo																	
Metais																	
Arsênico	-	-	-	-	-	-	-	-	8,24E-11	1,51E-09	6,98E-10	-	-	-	-	-	-
Cádmio	-	-	-	-	-	-	-	4,94E-05	7,46E-10	2,01E-08	6,32E-09	-	-	-	-	-	-
Ferro	-	4,44E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chumbo	-	-	-	-	-	-	-	5,90E-05	9,67E-11	1,63E-09	4,71E-10	-	-	-	-	-	-
Cromo (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	-	2,03E-07	1,70E-06	1,75E-06	-	-	-	-	-	-
Cromo +III	-	-	-	-	-	-	-	-	2,87E-11	8,42E-10	4,17E-12	-	-	-	-	-	-
Cobalto	-	-	-	-	-	-	-	-	3,57E-09	2,38E-10	3,12E-08	-	-	-	-	-	-
Cobre	-	-	-	-	-	-	-	-	2,08E-09	4,10E-09	1,79E-08	-	-	-	-	-	-
Estrôncio	-	-	-	-	-	-	-	-	6,57E-05	4,34E-06	5,68E-04	-	-	-	-	-	-
Ferro	-	-	-	-	-	-	-	-	2,94E-07	9,37E-07	2,56E-06	-	-	-	-	-	-
Manganês	-	8,85E-06	-	-	-	-	-	-	4,55E-08	2,42E-06	3,65E-07	-	-	-	-	-	-
Mercurio	-	7,21E-10	-	-	-	-	-	1,78E-05	4,32E-12	9,01E-12	3,55E-11	-	-	-	-	-	-
Níquel	-	-	-	-	-	-	-	-	7,02E-08	8,28E-06	5,04E-07	-	-	-	-	-	-
Zinco	-	3,59E-06	1,89E-06	-	-	-	-	4,15E-06	2,29E-08	4,31E-07	1,94E-07	-	-	-	-	-	-
Inorgânicos																	
Alumínio +III	-	-	-	-	-	-	-	-	2,31E-07	4,05E-06	1,97E-06	-	-	-	-	-	-
Amônia	-	-	-	-	-	-	-	-	1,04E-04	3,77E-05	9,00E-04	-	-	-	-	-	-

(continua)

Tabela 8.4 Compilação dos resultados do ICV para o cenário PO:Saídas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg. (continuação)

	Plantio da madeira	Extração de madeira	Disposição de madeira em aterro	Produção de celulose	Produção de papel Kraft	Produção de papel reciclado	Produção de chapas e caixas em PO	Disposição PO em aterro	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância 1)	Transporte em caminhão (longa distância 2)	Produção de amido	Produção de sulfato de alumínio
Emissões ao solo - Inorgânicos (continuação)																	
Bromo	-	-	-	-	-	-	-	-	3,06E-08	2,04E-09	2,68E-07	-	-	-	-	-	-
Cálcio +II	-	-	-	-	-	-	-	-	1,67E-06	1,08E-03	1,82E-07	-	-	-	-	-	-
Cálcio	-	8,85E-04	2,56E-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloro	-	-	4,41E-04	-	-	-	-	-	3,58E-05	6,49E-05	3,12E-04	-	-	-	-	-	-
Flúor	-	-	-	-	-	-	-	-	1,02E-06	6,80E-08	8,92E-06	-	-	-	-	-	-
Magnésio +II	-	-	-	-	-	-	-	-	2,31E-07	1,49E-04	2,81E-08	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio	-	2,22E-05	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fósforo	-	1,14E-05	-	-	-	-	-	1,92E-03	1,07E-05	1,35E-06	9,23E-05	-	-	-	-	-	-
Potássio	-	-	-	-	-	-	-	-	2,62E-05	3,18E-04	2,26E-04	-	-	-	-	-	-
Sódio +I	-	-	-	-	-	-	-	-	1,46E-07	9,46E-05	1,55E-08	-	-	-	-	-	-
Sulfato	-	-	-	-	-	-	-	-	2,34E-05	3,51E-04	1,99E-04	-	-	-	-	-	-
Enxofre	-	1,34E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Orgânicos																	
Carbono (não especificado)	-	6,89E-04	1,92E-05	-	-	-	-	0,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fipronil	1,18E-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Óleos (não especificado)	-	0,14	-	-	-	-	-	-	2,43E-06	1,68E-07	7,29E-08	-	-	-	-	-	-
Outras emissões	9,83E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pesticidas	9,83E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Deltamethrin	5,27E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Glifosato	9,78E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emissões atmosféricas																	
Metais																	
Antimônio	-	-	-	-	-	-	-	-	5,21E-05	1,33E-08	3,29E-09	-	-	-	-	-	-
Arsênico	-	-	-	-	-	-	-	-	1,48E-04	1,25E-08	4,90E-08	-	-	-	-	-	-
Tróxido de arsênico	-	-	-	-	-	-	-	-	5,96E-13	5,96E-13	2,11E-12	-	-	-	-	-	-
Cádmio	-	-	-	-	-	-	-	2,16E-06	1,50E-05	1,50E-08	1,64E-08	-	-	-	-	-	-
Cromo (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,02E-04	4,81E-08	1,27E-07	-	-	-	-	-	-
Cromo +III	-	-	-	-	-	-	-	-	3,15E-09	3,49E-08	4,46E-10	-	-	-	-	-	-
Cobalto	-	-	-	-	-	-	-	-	3,75E-05	2,53E-08	1,64E-07	-	-	-	-	-	-
Cobre	-	1,65E-06	-	-	-	-	-	-	7,81E-05	1,83E-07	1,27E-07	-	-	-	-	-	-
Metais pesados	-	-	-	-	-	-	-	-	6,74E-11	1,86E-10	1,37E-10	-	-	-	-	-	-
Arsina	-	-	-	-	-	-	-	-	4,95E-11	4,95E-11	1,75E-10	-	-	-	-	-	-
Ferro	-	1,96E-05	-	-	-	-	-	-	2,88E-07	7,32E-08	1,07E-06	-	-	-	-	-	-
Lantanídeos	-	-	-	-	-	-	-	-	5,86E-11	5,30E-11	3,65E-12	-	-	-	-	-	-
Chumbo	-	-	-	-	-	-	-	8,06E-07	1,41E-04	2,85E-06	3,04E-07	-	-	-	-	-	-
Manganês	-	-	-	-	-	-	-	4,90E-07	1,03E-04	9,49E-07	4,62E-08	-	-	-	-	-	-
Merúrio	-	-	-	-	-	-	-	3,15E-05	1,07E-05	5,42E-08	1,87E-08	-	-	-	-	-	-
Molibdênio	-	-	-	-	-	-	-	-	1,84E-08	1,51E-09	8,33E-08	-	-	-	-	-	-
Níquel	-	-	-	-	-	-	-	4,41E-06	5,97E-05	7,64E-08	1,22E-06	-	-	-	-	-	-
Paládio	-	-	-	-	-	-	-	-	3,03E-16	6,46E-17	5,25E-18	-	-	-	-	-	-
Ródio	-	-	-	-	-	-	-	-	2,93E-16	6,24E-17	5,07E-18	-	-	-	-	-	-
Selênio	-	-	-	-	-	-	-	-	4,92E-04	6,27E-08	1,30E-07	-	-	-	-	-	-
Prata	-	-	-	-	-	-	-	-	1,55E-16	1,01E-13	1,64E-17	-	-	-	-	-	-
Telúrio	-	-	-	-	-	-	-	-	4,20E-10	4,65E-09	5,95E-11	-	-	-	-	-	-
Tálio	-	-	-	-	-	-	-	-	2,77E-09	2,44E-08	4,38E-10	-	-	-	-	-	-

(continua)

Tabela 8.4 Compilação dos resultados do ICV para o cenário PO:Saídas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg. (continuação)

	Plantio da madeira	Extração de madeira	Disposição de madeira em aterro	Produção de celulose	Produção de papel Kraft	Produção de papel reciclado	Produção de chapas e caixas em PO	Disposição PO em aterro	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância 1)	Transporte em caminhão (longa distância 2)	Produção de amido	Produção de sulfato de alumínio
Emissões atmosféricas - Metais (continuação)																	
Estanho	-	-	-	-	-	-	-	-	1,86E-04	3,15E-08	4,26E-08	-	-	-	-	-	-
Titânio	-	-	-	-	-	-	-	-	3,04E-09	3,19E-09	2,01E-10	-	-	-	-	-	-
Vanádio	-	-	-	-	-	-	-	-	6,76E-05	1,69E-07	1,16E-05	-	-	-	-	-	-
Zinco	-	1,19E-05	4,93E-07	-	-	-	-	9,98E-05	9,00E-04	4,76E-07	3,55E-07	-	-	-	-	-	-
Inorgânicos																	
Amônia	-	3,13E-06	-	-	-	-	-	3,28E-03	6,68E-04	3,20E-06	2,21E-05	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-
Amônio	-	-	-	-	-	-	-	-	4,18E-12	3,32E-12	7,77E-12	-	-	-	-	-	-
Nitrato de amônia	-	-	-	-	-	-	-	-	9,48E-12	7,72E-11	2,85E-12	-	-	-	-	-	-
Bário	-	-	-	-	-	-	-	-	8,44E-04	2,80E-07	2,40E-05	-	-	-	-	-	-
Berílio	-	-	-	-	-	-	-	-	5,62E-06	9,45E-09	7,65E-10	-	-	-	-	-	-
Compostos de boro	-	-	-	-	-	-	-	-	1,52E-03	7,03E-07	9,04E-07	-	-	-	-	-	-
Bromo	-	-	-	-	-	-	-	-	1,50E-03	1,64E-07	2,24E-07	-	-	-	-	-	-
Dióxido de carbono	-	11,55	1,75	-	103,05	410,09	96,57	9,12	377,18	324,64	2,87	1,41	9,41	13,88	5,87	-	-
Dissulfeto de carbono	-	-	-	-	-	-	-	-	1,72E-08	1,06E-11	3,99E-12	-	-	-	-	-	-
Monóxido de carbono	-	0,32	-	-	0,87	0,25	0,03	0,04	0,25	3,12E-03	3,56E-03	0,00	0,02	0,03	0,01	-	-
Cloro (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	-	3,84E-06	1,23E-07	1,10E-05	-	-	-	-	-	-
Cloro (gás)	-	-	-	-	-	-	-	-	4,62E-10	1,96E-09	2,09E-11	-	-	-	-	-	-
Cianeto	-	-	-	-	-	-	-	-	9,16E-08	2,54E-09	2,69E-07	-	-	-	-	-	-
Fluoreto (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,21E-07	8,31E-08	1,01E-07	-	-	-	-	-	-
Fluoreto	-	-	-	-	-	-	-	-	1,65E-06	8,67E-07	5,51E-06	-	-	-	-	-	-
Fluor	-	-	-	-	-	-	-	-	4,44E-11	1,26E-10	3,32E-11	-	-	-	-	-	-
Hélio	-	-	-	-	-	-	-	-	3,95E-07	2,11E-07	2,88E-08	-	-	-	-	-	-
Hidrogênio	-	-	-	-	-	-	-	-	2,26E-05	3,26E-06	1,41E-05	-	-	-	-	-	-
Ácido bromídrico	-	-	-	-	-	-	-	-	1,03E-09	5,08E-10	1,39E-09	-	-	-	-	-	-
Ácido clorídrico	-	9,04E-05	-	-	-	-	-	0,01	0,10	1,17E-05	2,95E-05	-	-	-	-	-	-
Ácido cianídrico	-	-	-	-	-	-	-	-	9,55E-09	1,51E-08	2,28E-10	-	-	-	-	-	-
Ácido fluorídrico	-	1,24E-05	-	-	-	-	-	1,00E-05	0,02	1,60E-06	2,76E-06	-	-	-	-	-	-
Ácido iodídrico	-	-	-	-	-	-	-	-	1,06E-12	5,58E-13	1,40E-12	-	-	-	-	-	-
Ácido fosfórico	-	-	-	-	-	-	-	-	1,44E-12	7,85E-10	2,47E-13	-	-	-	-	-	-
Ácido sulfídrico	-	1,31E-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ácido sulfúrico	-	-	-	-	-	-	-	-	4,68E-05	4,46E-06	6,05E-05	-	-	-	-	-	-
Dióxido de chumbo	-	-	-	-	-	-	-	-	1,62E-12	1,05E-09	1,72E-13	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio (gás)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07	9,45E-05	5,08E-04	-	-	-	-	-	-
Dióxido de nitrogênio	-	-	-	-	-	-	-	-	1,53E-14	1,31E-09	2,24E-15	-	-	-	-	-	-
Monóxido de nitrogênio	-	-	-	-	-	-	-	-	5,08E-10	2,01E-08	1,16E-10	-	-	-	-	-	-
Óxidos de nitrogênio	-	0,13	-	-	0,67	0,72	0,40	0,11	1,31	4,16E-03	6,73E-03	1,34E-02	0,09	0,12	0,05	-	-
Óxido nitroso (gás hilarante)	-	-	-	-	-	-	-	-	4,81E-03	1,12E-05	5,44E-05	1,95E-05	1,30E-04	1,89E-04	7,94E-05	-	-
Oxigênio	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	2,49E-03	9,83E-04	-	-	-	-	-	-
Fosfato	-	3,09E-09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fósforo	-	3,40E-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escândio	-	-	-	-	-	-	-	-	2,90E-11	2,73E-11	1,81E-12	-	-	-	-	-	-
Vapor	-	-	-	-	-	-	-	-	612,64	0,45	1,11	-	-	-	-	-	-
Estrôncio	-	-	-	-	-	-	-	-	1,16E-09	1,02E-09	7,14E-11	-	-	-	-	-	-
Dióxido de enxofre	-	0,02	-	-	0,30	0,04	0,28	0,52	7,72	1,03E-03	0,02	4,44E-05	2,96E-04	4,37E-04	1,85E-04	-	-
Hexafluoreto de enxofre	-	-	-	-	-	-	-	-	1,11E-10	7,17E-08	1,17E-11	-	-	-	-	-	-

(continua)

Tabela 8.4 Compilação dos resultados do ICV para o cenário PO:Saídas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg. (continuação)

	Plantio da madeira	Extração de madeira	Disposição de madeira em aterro	Produção de celulose	Produção de papel Kraft	Produção de papel reciclado	Produção de chapas e caixas em PO	Disposição PO em aterro	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância 1)	Transporte em caminhão (longa distância 2)	Produção de amido	Produção de sulfato de alumínio
Emissões atmosféricas - Inorgânicos (continuação)																	
Ácido sulfúrico	-	-	-	-	-	-	-	-	1,62E-08	3,59E-08	1,13E-08	-	-	-	-	-	-
Óxido de estanho	-	-	-	-	-	-	-	-	1,41E-13	9,15E-11	1,49E-14	-	-	-	-	-	-
Óxido de zinco	-	-	-	-	-	-	-	-	2,82E-13	1,83E-10	2,99E-14	-	-	-	-	-	-
Sulfato de zinco	-	-	-	-	-	-	-	-	1,04E-09	1,25E-09	4,41E-09	-	-	-	-	-	-
Orgânicos																	
Grupo NMVOC	-	0,17	-	3,15E-03	-	-	-	0,05	0,05	3,03E-04	0,01	6,43E-04	4,29E-03	5,72E-03	2,41E-03	-	-
Grupo PAH	-	-	-	-	-	-	-	2,13E-07	4,44E-06	4,36E-07	2,03E-05	-	-	-	-	-	-
Antraceno	-	-	-	-	-	-	-	-	7,41E-11	2,64E-12	7,90E-10	-	-	-	-	-	-
Benzo(a)antraceno	-	-	-	-	-	-	-	-	3,73E-11	1,33E-12	3,98E-10	-	-	-	-	-	-
Benzo(a)pireno	-	-	-	-	-	-	-	-	1,17E-09	1,26E-09	2,27E-10	-	-	-	-	-	-
Benzo(ghi)perileno	-	-	-	-	-	-	-	-	3,33E-11	1,19E-12	3,55E-10	-	-	-	-	-	-
Benzofluoranteno	-	-	-	-	-	-	-	-	6,65E-11	2,37E-12	7,09E-10	-	-	-	-	-	-
Chrysene	-	-	-	-	-	-	-	-	9,16E-11	3,27E-12	9,76E-10	-	-	-	-	-	-
1,2,5,6-Dibenzonaftaleno	-	-	-	-	-	-	-	-	2,07E-11	7,40E-13	2,21E-10	-	-	-	-	-	-
Índeno(1,2,3)-cd-pireno	-	-	-	-	-	-	-	-	2,48E-11	8,83E-13	2,64E-10	-	-	-	-	-	-
Naftaleno	-	-	-	-	-	-	-	-	7,78E-09	2,78E-10	8,30E-08	-	-	-	-	-	-
Fenantreno	-	-	-	-	-	-	-	-	2,44E-09	8,72E-11	2,61E-08	-	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH)	-	-	-	-	-	-	-	2,13E-07	4,43E-06	4,35E-07	2,02E-05	-	-	-	-	-	-
Orgânicos halogenados	-	3,68E-06	-	-	-	-	-	6,09E-07	9,71E-08	2,60E-07	1,72E-07	-	-	-	-	-	-
1,1,1 - Trichloroetano	-	1,83E-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chloroetano	-	1,20E-08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dicloroetano (isômeros)	-	7,39E-08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diclorometano	-	1,84E-09	-	-	-	-	-	-	4,24E-15	9,03E-16	7,34E-17	-	-	-	-	-	-
Dioxinas (não especificado)	-	7,80E-13	-	-	-	-	-	1,10E-10	-	-	1,72E-14	-	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos halogenados (não especificados)	-	-	-	-	-	-	-	-	2,12E-15	4,54E-16	4,15E-17	-	-	-	-	-	-
Halon (1301)	-	1,47E-06	-	-	-	-	-	5,90E-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hexachloroetano	-	8,44E-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HFC (não especificado)	-	4,97E-08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos halogenados	-	-	-	-	-	-	-	1,89E-08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pentaclorofenol (PCP)	-	2,15E-12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bifenol policlorinado (PCB)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,08E-10	2,36E-10	3,85E-10	-	-	-	-	-	-
Dibenzo-p-dioxinas policlorinadas (2,3,7,8 - TCDD)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,95E-11	2,13E-11	5,10E-14	-	-	-	-	-	-
R 11 (triclorofluorometano)	-	2,62E-09	-	-	-	-	-	-	3,26E-08	1,90E-08	2,77E-08	-	-	-	-	-	-
R 114 (diclorotetrafluoroetano)	-	6,98E-08	-	-	-	-	-	-	3,34E-08	1,94E-08	2,84E-08	-	-	-	-	-	-
R 12 (diclorodifluorometano)	-	-	-	-	-	-	-	-	7,02E-09	4,08E-09	5,96E-09	-	-	-	-	-	-
R 13 (clorotrifluorometano)	-	3,54E-10	-	-	-	-	-	-	4,41E-09	2,56E-09	3,74E-09	-	-	-	-	-	-
R 21 (Diclorofluorometano)	-	1,55E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R 22 (clorodifluorometano)	-	6,53E-10	-	-	-	-	-	-	7,67E-09	4,46E-09	6,51E-09	-	-	-	-	-	-
Tetrafluorometano	-	4,48E-07	-	-	-	-	-	-	4,05E-10	1,81E-07	3,53E-10	-	-	-	-	-	-
Cloroetano	-	-	-	-	-	-	-	-	1,14E-08	2,88E-08	9,90E-08	-	-	-	-	-	-
Acetaldeído (etanal)	-	7,90E-05	-	-	-	-	-	-	6,96E-07	2,25E-07	1,21E-06	-	-	-	-	-	-
Ácido acético	-	-	-	-	-	-	-	-	2,50E-06	5,69E-08	3,91E-07	-	-	-	-	-	-
Acetona (dimetilcetona)	-	-	-	-	-	-	-	-	6,78E-07	1,98E-07	1,07E-06	-	-	-	-	-	-
Acroleína	-	-	-	-	-	-	-	-	5,23E-10	1,87E-11	5,57E-09	-	-	-	-	-	-
Aldeído (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,09E-07	1,49E-08	6,33E-09	-	-	-	-	-	-

(continua)

Tabela 8.4 Compilação dos resultados do ICV para o cenário PO:Saídas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg. (continuação)

	Plantio da madeira	Extração de madeira	Disposição de madeira em aterro	Produção de celulose	Produção de papel Kraft	Produção de papel reciclado	Produção de chapas e caixas em PO	Disposição PO em aterro	Produção de energia em termelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância 1)	Transporte em caminhão (longa distância 2)	Produção de amido	Produção de sulfato de alumínio
Emissões atmosféricas - Orgânicos (continuação)																	
Alcanos (não especificados)	-	-	-	-	-	-	-	-	4,22E-03	4,08E-07	9,55E-07	-	-	-	-	-	-
Alcenos (não especificados)	-	-	-	-	-	-	-	-	4,21E-03	4,38E-07	7,74E-07	-	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos aromáticos (não especificados)	-	-	-	-	-	-	-	-	2,24E-07	2,59E-09	1,90E-08	-	-	-	-	-	-
Benzaldeído	-	2,20E-09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Benzeno	-	1,24E-03	-	-	-	-	-	3,91E-05	3,66E-06	4,21E-06	1,05E-05	1,10E-05	7,35E-05	9,79E-05	4,12E-05	-	-
Butadieno	-	-	-	-	-	-	-	-	4,08E-12	2,95E-12	7,27E-12	-	-	-	-	-	-
Butano	-	3,02E-04	-	-	-	-	-	-	1,52E-04	6,69E-06	6,99E-04	-	-	-	-	-	-
Butano (n-butano)	-	-	-	-	-	-	-	-	3,85E-04	2,42E-07	1,61E-06	-	-	-	-	-	-
Buteno	-	1,26E-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ciclohexano	-	-	-	-	-	-	-	-	3,94E-07	2,44E-10	9,14E-11	-	-	-	-	-	-
Diethyl-amina	-	-	-	-	-	-	-	-	1,04E-16	8,31E-17	1,94E-16	-	-	-	-	-	-
Etano	-	8,90E-05	-	-	-	-	-	-	1,18E-03	2,30E-05	1,86E-03	-	-	-	-	-	-
Etanol	-	6,66E-07	-	-	-	-	-	-	1,14E-06	2,81E-08	1,14E-07	-	-	-	-	-	-
Eteno (etileno)	-	1,96E-04	-	-	-	-	-	-	3,91E-08	6,64E-08	3,25E-07	-	-	-	-	-	-
Acetileno	-	1,48E-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Etilbenzeno	-	-	-	-	-	-	-	-	4,21E-03	6,11E-07	9,54E-07	-	-	-	-	-	-
Fluoranteno	-	-	-	-	-	-	-	-	2,41E-10	8,61E-12	2,57E-09	-	-	-	-	-	-
Fluoreno	-	-	-	-	-	-	-	-	7,66E-10	2,73E-11	8,16E-09	-	-	-	-	-	-
Formaldeído (metanal)	-	3,70E-09	-	-	-	-	-	-	1,15E-03	2,65E-07	1,82E-06	-	-	-	-	-	-
Heptano (isômeros)	-	7,07E-05	-	-	-	-	-	-	5,07E-06	2,00E-07	2,47E-05	-	-	-	-	-	-
Hexametileno diamina (HMDA)	-	-	-	-	-	-	-	-	2,40E-13	1,74E-13	4,28E-13	-	-	-	-	-	-
Hexano (isômeros)	-	1,49E-04	-	-	-	-	-	-	8,07E-06	3,74E-07	3,66E-05	-	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos aromáticos	-	-	-	-	-	-	-	6,62E-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mercaptanas (não especificado)	-	-	-	3,15E-03	-	-	-	-	1,51E-07	2,46E-07	1,31E-06	-	-	-	-	-	-
Metanol	-	8,94E-07	-	-	-	-	-	-	1,12E-06	1,31E-08	9,50E-08	-	-	-	-	-	-
NMVOG (não especificado)	-	0,15	-	-	-	-	-	0,05	1,13E-02	2,27E-04	1,14E-03	6,24E-04	4,17E-03	5,56E-03	2,34E-03	-	-
Octano	-	-	-	-	-	-	-	-	2,79E-06	1,10E-07	1,36E-05	-	-	-	-	-	-
Pentano (n-pentano)	-	3,77E-04	-	-	-	-	-	-	2,74E-03	2,94E-06	2,37E-04	-	-	-	-	-	-
Fenol (hidroxibenzeno)	-	2,50E-06	-	-	-	-	-	-	4,06E-11	4,71E-09	1,35E-12	-	-	-	-	-	-
Propano	-	3,00E-04	-	-	-	-	-	-	1,49E-03	3,22E-05	3,39E-03	-	-	-	-	-	-
Propeno (propileno)	-	1,53E-05	-	-	-	-	-	-	3,83E-04	4,44E-08	6,95E-08	-	-	-	-	-	-
Ácido propanóico	-	-	-	-	-	-	-	-	9,97E-11	9,18E-11	9,87E-12	-	-	-	-	-	-
Estireno	-	-	-	-	-	-	-	-	4,36E-10	2,70E-13	1,01E-13	-	-	-	-	-	-
Tolueno (metilbenzeno)	-	0,01	-	-	-	-	-	-	1,92E-03	2,93E-07	7,90E-07	2,11E-06	1,41E-05	1,88E-05	7,90E-06	-	-
Trimetilbenzeno	-	-	-	-	-	-	-	-	1,37E-12	8,91E-10	1,45E-13	-	-	-	-	-	-
Xileno (dimetilbenzeno)	-	0,01	-	-	-	-	-	-	0,02	1,99E-06	3,56E-06	5,27E-06	3,52E-05	4,69E-05	1,98E-05	-	-
Monóxido de nitrogênio	-	4,01E-04	-	-	-	-	-	3,43E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alcanos (não especificados)	-	1,03E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alcenos (não especificados)	-	1,15E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos aromáticos	-	1,17E-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metano	-	0,02	0,15	-	-	-	-	1,32E-02	0,78	1,51E-03	0,04	1,58E-05	1,06E-04	1,41E-04	5,93E-05	-	-
Compostos orgânicos clorados	-	-	-	-	-	-	-	-	4,75E-12	3,87E-11	1,43E-12	-	-	-	-	-	-
COV (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,33E-06	7,40E-07	5,75E-06	-	-	-	-	-	-

(continua)

Tabela 8.4 Compilação dos resultados do ICV para o cenário PO:Saídas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg. (continuação)

	Plantio da madeira	Extração de madeira	Disposição de madeira em aterro	Produção de celulose	Produção de papel Kraft	Produção de papel reciclado	Produção de chapas e caixas em PO	Disposição PO em aterro	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância 1)	Transporte em caminhão (longa distância 2)	Produção de amido	Produção de sulfato de alumínio
Emissões atmosféricas - Outras emissões																	
Exaustão	-	-	-	-	-	-	-	-	1.516,92	1,37	1,93	-	-	-	-	-	-
Ar usado	-	-	-	-	-	-	-	-	0,79	1,38E-02	4,48E-03	-	-	-	-	-	-
Material particulado																	
Material particulado (>MP10 - Diâmetro aerodinâmico > 10 mm)	-	2,00E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Material particulado (>MP10 - Diâmetro aerodinâmico > 10 mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07	4,46E-06	9,36E-05	-	-	-	-	-	-
Material particulado (MP2,5 - 10 - Diâmetro aerodinâmico entre 2,5 e 10 mm)	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Material particulado (<MP2,5 - Diâmetro aerodinâmico < 2,5 mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,58	3,01E-05	9,88E-05	3,37E-04	2,25E-03	2,95E-03	1,24E-03	-	-
Material particulado (não especificado)	-	-	-	-	-	5,19E-03	0,02	0,02	0,07	5,55E-04	1,21E-04	-	-	-	-	-	-
Metais (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	6,67E-05	4,88E-11	2,84E-11	4,88E-12	-	-	-	-	-	-
Serragem	-	-	-	-	-	-	-	-	5,21E-11	3,38E-08	5,51E-12	-	-	-	-	-	-
Radioativos																	
Urânio (total)	-	-	-	-	-	-	-	-	4,07E-08	2,79E-08	3,41E-08	-	-	-	-	-	-
Emissões aos corpos d'água																	
Análises																	
Compostos orgânicos halogenados adsorvíveis (AOX)	-	-	-	-	-	-	-	4,67E-07	1,57E-06	9,97E-08	1,10E-05	-	-	-	-	-	-
DBO	-	-	1,66	-	-	-	-	4,92E-03	1,08E-05	1,00E+00	8,53E-06	5,90E-05	-	-	-	1,95E-05	-
DQO	-	7,21E-04	7,03	1,95	-	-	-	6,00E-03	3,48E-04	0,67	7,52E-03	1,14E-03	-	-	-	-	-
SST	-	-	-	-	-	-	-	0,06	5,90E-06	8,58E-06	4,97E-06	-	-	-	-	-	-
COD	-	-	-	-	-	-	-	-	1,09E-13	2,64E-08	1,98E-13	-	-	-	-	-	-
COT	-	3,74E-03	6,39	-	-	-	-	-	6,03E-05	5,71E-05	1,16E-04	-	-	-	-	-	-
Metais																	
Antimônio	-	-	-	-	-	-	-	-	2,68E-13	1,74E-10	2,84E-14	-	-	-	-	-	-
Arsênico	-	-	-	-	-	-	-	-	5,86E-04	1,53E-06	3,04E-08	3,65E-06	-	-	-	-	-
Cádmio	-	-	-	5,74E-05	-	-	-	-	1,14E-04	8,43E-06	3,15E-07	1,70E-06	-	-	-	-	-
Cromo (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	-	3,51E-06	2,54E-06	4,79E-08	5,24E-06	-	-	-	-	-
Cromo +III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,66E-08	4,09E-06	8,76E-09	-	-	-	-	-
Cromo +VI	-	3,54E-10	-	1,21E-03	-	-	-	-	-	1,69E-15	4,34E-14	2,45E-16	-	-	-	-	-
Cobalto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,45E-07	1,40E-08	1,76E-06	-	-	-	-	-
Cobre	-	3,24E-06	-	7,08E-04	-	-	-	-	-	2,71E-06	7,48E-08	5,89E-06	-	-	-	-	-
Metais pesados	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,62E-09	2,31E-08	8,74E-10	-	-	-	-	-
Ferro	-	4,23E-04	-	-	-	-	-	-	2,85E-04	1,09E-03	4,82E-04	2,38E-04	-	-	-	-	-
Óxido de ferro	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chumbo	-	-	-	-	-	-	-	-	2,14E-05	6,67E-07	9,01E-08	1,33E-06	-	-	-	-	-
Manganês	-	2,17E-05	-	1,07E-03	-	-	-	-	-	1,46E-04	3,53E-07	2,63E-06	-	-	-	-	-
Mercúrio	-	-	-	-	-	-	-	-	1,86E-05	1,03E-08	4,72E-10	3,00E-08	-	-	-	-	-
Molibdênio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,25E-07	6,30E-08	2,02E-07	-	-	-	-	-
Níquel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,57E-05	3,68E-08	2,76E-06	-	-	-	-	-
Selênio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,20E-08	1,17E-08	1,38E-07	-	-	-	-	-
Prata	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,39E-09	2,58E-10	1,09E-10	-	-	-	-	-
Estrôncio	-	1,15E-03	-	-	-	-	-	-	-	7,33E-04	9,43E-07	6,48E-05	-	-	-	-	-
Tálio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,10E-11	2,21E-11	7,40E-11	-	-	-	-	-
Estanho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,48E-09	8,15E-12	5,19E-12	-	-	-	-	-
Titânio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,74E-08	8,09E-08	9,70E-09	-	-	-	-	-
Vanádio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,69E-07	3,86E-08	1,36E-06	-	-	-	-	-
Zinco	-	1,25E-05	2,01E-06	3,73E-04	-	-	-	1,18E-02	2,36E-05	3,60E-07	3,59E-05	-	-	-	-	-	-

(continua)

Tabela 8.4 Compilação dos resultados do ICV para o cenário PO:Saídas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg. (continuação)

	Plantio da madeira	Extração de madeira	Disposição de madeira em aterro	Produção de celulose	Produção de papel Kraft	Produção de papel reciclado	Produção de chapas e caixas em PO	Disposição PO em aterro	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância 1)	Transporte em caminhão (longa distância 2)	Produção de amido	Produção de sulfato de alumínio
Emissões aos corpos d'água - Inorgânicos																	
Ácidos (calculados como H+)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,56E-08	7,69E-08	-	-	-	-	-	-
Alumínio	-	5,11E-04	-	-	-	-	-	2,57E-04	1,48E-04	2,13E-06	2,65E-06	-	-	-	-	-	-
Amônia	-	-	-	-	-	-	-	-	6,24E-07	5,60E-07	1,65E-08	-	-	-	-	-	-
Amônio	-	3,10E-04	-	0,02	-	-	-	-	4,87E-04	2,04E-06	4,22E-05	-	-	-	-	-	-
Bário	-	2,45E-03	-	-	-	-	-	3,28E-04	2,75E-05	6,39E-07	8,04E-05	-	-	-	-	-	-
Berílio	-	-	-	-	-	-	-	-	2,55E-08	8,75E-10	1,01E-07	-	-	-	-	-	-
Boro	-	-	-	-	-	-	-	-	1,24E-06	1,74E-07	2,01E-07	-	-	-	-	-	-
Bromo	-	-	-	-	-	-	-	-	8,75E-06	1,50E-08	9,33E-09	-	-	-	-	-	-
Cálcio	-	7,76E-03	-	-	-	-	-	-	1,62E-03	1,16E-04	4,08E-03	-	-	-	-	-	-
Carbonato	-	-	-	-	-	-	-	-	1,14E-01	2,62E-03	3,21E-01	-	-	-	-	-	-
Cloro	-	0,11	-	-	-	-	-	0,95	0,81	2,57E-03	0,08	-	-	-	-	-	-
Cloro (dissolvido)	-	-	-	-	-	-	-	-	4,38E-06	2,97E-06	3,82E-06	-	-	-	-	-	-
Cobre - íon (Cu ⁺⁺ /Cu ⁺⁺⁺)	-	-	-	-	-	-	-	3,96E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cianeto	-	-	-	-	-	-	-	4,74E-07	2,21E-08	1,70E-09	5,53E-08	-	-	-	-	-	-
Fluoreto	-	-	-	-	-	-	-	-	9,18E-04	7,36E-05	9,41E-05	-	-	-	-	-	-
Flúor	-	-	-	-	-	-	-	-	1,24E-08	1,88E-08	2,39E-08	-	-	-	-	-	-
Ácido clorídrico	-	-	-	-	-	-	-	-	3,17E-09	3,51E-08	4,52E-10	-	-	-	-	-	-
Ácido fluorídrico	-	-	-	-	-	-	-	-	4,67E-10	2,12E-09	4,04E-09	-	-	-	-	-	-
Ácido sulfídrico	-	2,88E-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidróxido	-	-	-	-	-	-	-	-	8,24E-08	4,50E-06	1,20E-08	-	-	-	-	-	-
Sais e ácidos inorgânicos (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	-	7,12E-04	-	-	-	-	-	-	3,93E-05	5,32E-06	1,50E-05	-	-	-	-	-	-
Cloreto de magnésio	-	-	-	-	-	-	-	-	8,25E-11	1,76E-11	1,43E-12	-	-	-	-	-	-
Íons metálicos (não especificados)	-	-	-	-	-	-	-	7,87E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sais neutros	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,64E-12	-	-	-	-	-	-	-
Níquel - íon (Ni ⁺⁺)	-	-	-	-	-	-	-	1,56E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrato	-	1,76E-04	-	0,05	-	-	4,08E-05	0,80	2,11E-04	4,31E-06	1,05E-05	-	-	-	-	-	-
Nitrito	-	3,59E-07	-	0,04	-	-	7,74E-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio	-	-	-	-	-	-	5,31E-04	-	5,42E-08	7,37E-07	7,86E-09	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio (como N total)	-	4,65E-04	-	-	-	-	-	2,54E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio orgânico	-	6,53E-05	-	-	-	-	-	-	2,31E-05	7,13E-07	5,93E-05	-	-	-	-	-	-
Fosfato	-	9,67E-05	-	-	-	-	-	6,43E-03	2,05E-06	2,49E-07	5,55E-06	-	-	-	-	-	-
Fósforo	-	9,54E-08	-	1,35E-02	-	-	3,07E-04	-	5,29E-07	5,64E-08	4,44E-06	-	-	-	-	-	-
Potássio	-	1,09E-03	-	0,04	-	-	-	-	3,45E-07	3,33E-07	1,39E-06	-	-	-	-	-	-
Silicatos	-	-	-	-	-	-	-	-	8,98E-13	1,76E-10	9,66E-11	-	-	-	-	-	-
Sódio	-	0,06	-	-	-	-	-	-	0,03	5,21E-04	1,18E-03	-	-	-	-	-	-
Sal (NaCl)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,04E-07	-	-	-	-	-	-	-
Hipoclorito de sódio	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15E-10	2,09E-08	8,26E-12	-	-	-	-	-	-
Sulfato	-	1,37E-02	-	2,64	-	-	-	1,39	6,38E-02	1,19E-03	5,28E-03	-	-	-	-	-	-
Sulfureto	-	6,07E-06	-	2,14E-03	-	-	-	3,75E-06	3,16E-04	7,29E-06	9,27E-04	-	-	-	-	-	-
Sulfito	-	-	-	-	-	-	-	-	3,20E-07	4,89E-08	6,10E-08	-	-	-	-	-	-
Enxofre	-	-	-	-	-	-	-	-	9,85E-08	1,68E-10	6,89E-11	-	-	-	-	-	-
Trióxido de enxofre	-	2,02E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Acido sulfúrico	-	-	-	-	-	-	-	-	4,09E-07	4,53E-06	5,83E-08	-	-	-	-	-	-

(continua)

Tabela 8.4 Compilação dos resultados do ICV para o cenário PO:Saídas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg. (continuação)

	Plantio da madeira	Extração de madeira	Disposição de madeira em aterro	Produção de celulose	Produção de papel Kraft	Produção de papel reciclado	Produção de chapas e caixas em PO	Disposição PO em aterro	Produção de energia em termoeletrica	Produção de energia em hidreletrica	Produção de diesel	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância 1)	Transporte em caminhão (longa distância 2)	Produção de amido	Produção de sulfato de alumínio
Emissões aos corpos d'água - Orgânicos																	
Orgânicos halogenados	-	5,66E-10	-	-	-	-	-	-	1,04E-08	9,01E-09	1,19E-09	-	-	-	-	-	-
1,2-Dibromoetano	-	-	-	-	-	-	-	-	9,25E-11	5,73E-14	2,15E-14	-	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos clorados (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,36E-14	9,73E-16	1,45E-15	-	-	-	-	-	-
Clorometano	-	-	-	-	-	-	-	-	1,03E-08	8,25E-09	1,19E-09	-	-	-	-	-	-
Dicloropropano	-	-	-	-	-	-	-	-	1,93E-16	1,39E-16	3,43E-16	-	-	-	-	-	-
Dibenzo-p-dioxinas policlorinadas (2,3,7,8 - TCDD)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,02E-20	2,16E-21	1,76E-22	-	-	-	-	-	-
R 12 (diclorodifluorometano)	-	5,66E-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloroetano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,55E-10	-	-	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos	-	4,53E-03	-	3,15E-03	-	-	-	3,34E-03	1,62E-04	2,88E-04	6,78E-05	-	-	-	-	-	-
Acenafaleno	-	-	-	-	-	-	-	-	1,99E-08	8,15E-10	1,16E-07	-	-	-	-	-	-
Acenafetileno	-	-	-	-	-	-	-	-	7,67E-09	3,11E-10	4,42E-08	-	-	-	-	-	-
Ácido acético	-	-	-	-	-	-	-	-	9,25E-07	1,28E-07	2,16E-05	-	-	-	-	-	-
Acilonitrilo	-	-	-	-	-	-	-	-	1,41E-11	1,02E-11	2,51E-11	-	-	-	-	-	-
Antraceno	-	-	-	-	-	-	-	-	7,75E-09	2,20E-10	3,04E-08	-	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos aromáticos (não especificados)	-	-	-	-	-	-	-	-	2,06E-07	6,60E-09	7,03E-07	-	-	-	-	-	-
Benzeno	-	-	-	-	-	-	-	-	7,35E-06	1,70E-07	1,96E-05	-	-	-	-	-	-
Benzo(a)antraceno	-	-	-	-	-	-	-	-	4,30E-09	1,82E-10	2,60E-08	-	-	-	-	-	-
Benzofluoranteno	-	-	-	-	-	-	-	-	4,59E-09	2,02E-10	2,89E-08	-	-	-	-	-	-
Criseno	-	-	-	-	-	-	-	-	2,39E-08	1,03E-09	1,47E-07	-	-	-	-	-	-
Cresol (metilfenol)	-	-	-	-	-	-	-	-	2,55E-09	4,36E-12	1,78E-12	-	-	-	-	-	-
Etilbenzeno	-	-	-	-	-	-	-	-	6,49E-07	2,24E-08	1,71E-06	-	-	-	-	-	-
Ácidos graxos (calculados como C total)	-	9,58E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluoranteno	-	-	-	-	-	-	-	-	5,01E-09	2,13E-10	3,04E-08	-	-	-	-	-	-
Hexano (isômeros)	-	-	-	-	-	-	-	-	2,79E-10	6,62E-11	2,05E-13	-	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos (não especificados)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,31E-07	1,74E-07	3,94E-08	-	-	-	-	-	-
Metanol	-	-	-	-	-	-	-	-	1,45E-04	4,16E-07	5,82E-07	-	-	-	-	-	-
Óleos (não especificado)	-	3,51E-03	-	-	-	-	-	3,30E-03	5,30E-05	1,66E-06	1,84E-04	-	-	-	-	-	-
Fenol (hidroxibenzeno)	-	2,45E-05	-	3,15E-03	-	-	-	1,64E-05	1,18E-05	3,24E-07	3,90E-05	-	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH)	-	-	-	-	-	-	-	1,61E-06	5,15E-07	2,87E-04	5,92E-08	-	-	-	-	-	-
Tolueno (metilbenzeno)	-	2,06E-05	-	-	-	-	-	1,47E-05	4,28E-06	1,03E-07	1,11E-05	-	-	-	-	-	-
Xileno (dimetilbenzeno)	-	1,78E-05	-	-	-	-	-	-	3,84E-06	3,84E-07	9,23E-06	-	-	-	-	-	-
COT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,56E-09	4,78E-05	-	-	-	-	-	-
Alcenos (não especificados)	-	2,27E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos aromáticos	-	1,13E-04	-	-	-	-	-	1,06E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos (não especificados)	-	9,95E-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Naftaleno	-	-	-	-	-	-	-	-	7,16E-07	2,60E-08	3,65E-06	-	-	-	-	-	-
Compostos orgânicos clorados	-	-	-	-	-	-	-	-	4,76E-12	3,87E-11	1,43E-12	-	-	-	-	-	-
Compostos orgânicos dissolvidos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,20E-09	-	-	-	-	-	-	-
Compostos orgânicos (não especificados)	-	-	-	-	-	-	-	-	8,02E-23	9,54E-22	1,17E-23	-	-	-	-	-	-
Naphthalene	-	-	-	-	-	-	-	-	6,61E-07	2,48E-08	3,48E-06	-	-	-	-	-	-
Material particulado																	
Metais (não especificado)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,87E-10	1,34E-09	1,88E-11	-	-	-	-	-	-
Perda de solo por erosão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,31E-08	7,75E-08	-	-	-	-	-	-
SST	-	1,03E-02	-	-	-	-	1,96E-03	7,63E-03	0,08	4,09E-04	0,04	-	-	-	-	-	-

(continua)

Tabela 8.4 Compilação dos resultados do ICV para o cenário PO:Saídas. Unidade funcional: 2.000 caixas com capacidade de 6kg. Valores em kg. (continuação)

	Plantio da madeira	Extração de madeira	Disposição de madeira em aterro	Produção de celulose	Produção de papel Kraft	Produção de papel reciclado	Produção de chapas e caixas em PO	Disposição PO em aterro	Produção de energia em termoelétrica	Produção de energia em hidrelétrica	Produção de diesel	Transporte em caminhão (local 1)	Transporte em caminhão (local 2)	Transporte em caminhão (longa distância 1)	Transporte em caminhão (longa distância 2)	Produção de amido	Produção de sulfato de alumínio
Produção de resíduos no ciclo de vida																	
Resíduo perigoso recuperável	-	-	-	-	-	-	4,38E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lodo (óleos)	-	-	-	-	-	-	4,38E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resíduo a ser disposto	-	126,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resíduo de madeira para compostagem	-	126,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resíduo recuperável	-	-	-	-	-	-	0,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escória da produção do ferro	-	-	-	-	-	-	0,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plásticos	-	-	-	-	-	-	0,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recursos energéticos renováveis																	
Madeira	759,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Madeira para polpa	-	1.007,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Água	-	-	-	-	-	-	-	-	13.703,91	0,41	6,68	-	-	-	-	-	-
Substâncias de valor																	
Energia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,63	-	-	-	-	-	-
Combustíveis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,63	-	-	-	-	-	-
Derivados de petróleo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,63	-	-	-	-	-	-
Diesel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,63	-	-	-	-	-	-
Materiais	-	-	-	198,42	512,71	865,18	503,17	-	-	-	-	-	-	-	-	62,86	22,06
Produtos intermediários	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,06
Produtos inorgânicos intermediários	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,06
Sulfato de alumínio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,06
Produtos oriundos de recursos renováveis	-	-	-	198,42	512,71	865,18	503,17	-	-	-	-	-	-	-	-	62,86	-
PO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fibras de papel reciclado	-	-	-	-	-	-	503,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Papel reciclado	-	-	-	-	-	865,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Papel Kraft	-	-	-	-	512,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Celulose	-	-	-	198,42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62,86	-
Caixa de PO	-	-	-	-	-	-	960,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbonato	2,63E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Proteína de batatas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,14	-