

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

---

**JULIANA THAISSA FREESE**

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE COPOS PLÁSTICOS DE  
POLIESTIRENO E DE CANECAS DE CERÂMICA UTILIZADOS  
PARA SERVIR CAFÉ EM UM AMBIENTE DE TRABALHO**

Porto Alegre

Janeiro 2013

**JULIANA THAISSA FREESE**

**ANALISE DO CICLO DE VIDA DE COPOS PLÁSTICOS DE POLIESTIRENO E DE  
CANECAS DE CERÂMICA UTILIZADOS PARA SERVIR CAFÉ EM UM  
AMBIENTE DE TRABALHO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO APRESENTADO  
AO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
DO SUL COMO PARTE DOS REQUISITOS  
PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Orientador: Luiz Fernando de Abreu Cybis

Co-orientador: Rafael Batista Zortea

Porto Alegre

Janeiro 2013

JULIANA THAISSA FREESE

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE COPOS PLÁSTICOS DE POLIESTIRENO E DE  
CANECAS DE CERÂMICA UTILIZADOS PARA SERVIR CAFÉ EM UM  
AMBIENTE DE TRABALHO**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em **07/01/2013** pela Comissão avaliadora constituída pelos professores:

Banca Examinadora:

.....  
Prof. Luiz Fernando de Abreu Cybis - Orientador

.....  
Rafael Batista Zortea – Co-orientador

.....  
Wagner Menezes da Silva - FAQUI - Faculdade de Química - PUCRS

.....  
Flávio Orlandin - FAQUI - Faculdade de Química - PUCRS

Conceito:.....

Dedico este trabalho a meus pais, irmão, namorado e  
amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas e à Escola de Engenharia, especialmente aos seus professores e funcionários, pela qualidade de ensino oferecida.

Agradeço ao Prof. Cybis, orientador deste trabalho, pela orientação e pela confiança na realização do mesmo.

Agradeço ao meu co-orientador Rafael pelo seu apoio, dedicação, incentivo e pelas tardes de conversa e reflexão que foram de fundamental importância para o desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço a meus pais Hannelora e Ari e ao meu irmão Samuel que sempre confiaram em meu potencial e me incentivaram a buscar limites sempre mais altos.

Agradeço ao meu namorado Arthur pelo incentivo, pela torcida e confiança ao longo dos meus desafios na graduação, e em especial durante a realização desse trabalho, me escutando nos momentos difíceis e compartilhando minhas vitórias.

Agradeço aos meus amigos e colegas de graduação pela parceria e pelo incentivo mútuo ao longo desses anos que tornaram mais fácil e gratificante a superação das dificuldades e o alcance dos objetivos e sonhos.

“Se você quer chegar aonde a maioria não  
chega, faça o que a maioria não faz.”  
*Bill Gates*

## RESUMO

**FREESE, J. T. Análise do Ciclo de Vida de copos plásticos de poliestireno e de canecas de cerâmica utilizados para servir café em um ambiente de trabalho.** 2012. 69 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

O aumento no consumo de café pelos brasileiros tem se refletido também nos ambientes de trabalho. Acompanhando essa tendência e a maior atenção sobre os problemas ambientais, cresce o interesse na discussão de qual a opção para servi-lo que apresenta os menores impactos do ponto de vista ambiental: copos de plástico de poliestireno (PS) ou canecas de cerâmica. Esse trabalho visou melhor compreender os impactos ambientais do ciclo de vida desses recipientes e os comparou de maneira equivalente através da metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV) em um ambiente de trabalho genérico em Porto Alegre. Os copos de plástico e as canecas de cerâmica foram avaliados por meio de quatro categorias de impacto: Potencial de Aquecimento Global (GWP), Potencial de Eutrofização de água doce (EP), Acidificação terrestre (AP) e Depleção de Água (W). O perfil ambiental obtido para os recipientes permitiu a sua comparação e o desenvolvimento de uma forma de avaliação dessas alternativas. Quanto aos copos plásticos, concluiu-se que a etapa de maior impacto no seu ciclo de vida é a produção das matérias primas. Em relação às canecas de cerâmica, por outro lado, é a etapa de uso que provoca o maior impacto em seu ciclo de vida. Os copos de poliestireno tiveram melhores resultados nas categorias Potencial de Eutrofização de água doce (EP) e Depleção de Água (W), enquanto a caneca nas categorias de Potencial de Aquecimento Global (GWP) e Acidificação Terrestre (AP). Concluiu-se que tanto os copos plásticos quanto as canecas de cerâmica possuem aspectos ambientais positivos e negativos que podem ser mais bem explorados auxiliando os tomadores de decisão na escolha do recipiente para servir café. Duas medidas são fundamentais para a redução dos seus impactos: o aumento na taxa de reciclagem do poliestireno e a reutilização da água de lavagem das canecas para outros fins menos nobres.

Palavras-chave: análise do ciclo de vida, copos plásticos, caneca de cerâmica.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fases e estrutura iterativa da ACV. ....	17
Figura 2: Relação entre o parâmetro (esquerda), Indicador <i>midpoint</i> (centro) e Indicador <i>endpoint</i> (direita) na metodologia Recipe 2008. ....	22
Figura 3: Consumo de resíduo plástico por tipo de resina. ....	24
Figura 4: Estrutura do polímero de poliestireno.....	25
Figura 5: Fases principais do processo de termoformagem: aquecimento, conformação, corte das aparas. ....	26
Figura 6 : Exemplo de conformação de copos plásticos: (1) termoformagem à vácuo em molde fêmea e (2) moldagem sob pressão. ....	27
Figura 7: Principais etapas no processo de produção da caneca de cerâmica.....	33
Figura 8: Modelo de copo plástico de poliestireno (PS) avaliado no estudo. ....	36
Figura 9: Modelo de caneca de cerâmica avaliado no estudo. ....	36
Figura 10: Limite do sistema avaliado para os copos plásticos de poliestireno (PS).....	38
Figura 11: Limite do sistema avaliado para a caneca de cerâmica. ....	39
Figura 12: Visão esquemática das etapas incluídas no inventario da produção do GPPS e do HIPS. ....	42
Figura 13: Diagrama simplificado ilustrando a fronteira do sistema e as etapas produtivas das matérias primas utilizadas na produção da caneca. ....	46
Figura 14: Contribuição relativa por processo avaliado no ciclo de vida do Copo Plástico de Poliestireno (PS).sobre cada Categoria de Impacto ....	52
Figura 15: Contribuição relativa por processo avaliado no ciclo de vida da Caneca de Cerâmica.sobre cada Categoria de Impacto ....	54
Figura 16: Comparação entre a caneca de cerâmica e os copos plásticos na categoria “Potencial de Aquecimento Global (GWP)”.....	55
Figura 17: Comparação entre a caneca de cerâmica e os copos plásticos na categoria “Eutrofização de Agua doce (EP)”.....	56
Figura 18: Comparação entre a caneca de cerâmica e os copos plásticos na categoria “Acidificação terrestre (AP)”.....	57
Figura 19: Comparação entre a caneca de cerâmica e os copos plásticos na categoria “Depleção de água (W)”.....	58



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Categorias de Impacto Ambiental do Método ReCiPe 2008. ....	22
Quadro 2: Dados Inventario: Produção das Matérias-Primas dos Copos Plásticos (PS). ....	43
Quadro 3: Dados Inventario: Distâncias percorridas avaliadas na etapa de transporte do ciclo de vida do copo plástico. ....	44
Quadro 4: Dados inventario: Produção das Matérias-primas da caneca de cerâmica. ....	45
Quadro 5: Dados Inventario: Produção da Caneca de Cerâmica. ....	47
Quadro 6: Dados inventario: uso e destinação final dos resíduos. ....	48
Quadro 7: Dados Inventario: Distâncias percorridas avaliadas na etapa de transporte do ciclo de vida da caneca de cerâmica. ....	48
Quadro 8: Perfil ambiental do Copo Plástico de Poliestireno (PS). ....	51
Quadro 9: Perfil ambiental da Caneca de Cerâmica. ....	53

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Exemplo de diferentes aplicações da ACV e seus requerimentos.....	15
---	----

## LISTA DE SIGLAS

ABIC: Associação Brasileira da Indústria de Café

ACV: Análise do Ciclo de Vida

ICV: Inventário do Ciclo de Vida

AICV: Análise dos Impactos do Ciclo de Vida

IARC: *International Agency for Research on Cancer* – Agência Internacional para Pesquisa em Câncer

PS: Poliestireno

GPPS: General Purpose Polystyrene - Poliestireno Cristal ou Standard para uso Geral

HIPS: High Impact Polystyrene - Poliestireno de alto impacto

GWP: Global Warming Potential – Potencial de Aquecimento Global

AP: Acidification Potential – Potencial de Acidificação Terrestre

EP: Eutrophication Potential – Potencial de Eutrofização de Água Doce

W: Water – Depleção de água

## SUMÁRIO

1.	Introdução.....	13
1.1.	Objetivos.....	14
1.1.1.	Objetivos Gerais .....	14
1.1.2.	Objetivos específicos.....	14
2	Revisão Bibliográfica .....	15
2.1	Análise do Ciclo de Vida (ACV).....	15
2.2	Fases da ACV conforme a ISO 14040.....	16
2.2.1	Definição do Objetivo e do Escopo.....	17
2.2.2	Análise do Inventario .....	18
2.2.3	Análise de Impactos .....	19
2.2.4	Interpretação de Resultados .....	19
2.3	Metodologia de Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida .....	20
2.3.1	ReCiPe 2008.....	21
3	Análise da cadeia produtiva do copo plástico descartável de poliestireno (PS) .....	23
3.1	Obtenção de Matéria prima .....	23
3.2	Produção de copos plásticos .....	26
3.3	Destinação final dos resíduos .....	27
4	Análise da cadeia produtiva da caneca de cerâmica.....	29
4.1	Matéria-Prima: Cerâmica Branca – Louça ou Faiança.....	29
4.2	Produção das canecas de cerâmica .....	30
4.3	Destinação final .....	33
5	Metodologia .....	34
5.1	Objetivo e Escopo.....	34
5.1.1	Definição do Objetivo .....	34
5.1.2	Definição do Escopo .....	34
5.2	Inventario do ciclo de vida .....	41

5.2.1	Copos plásticos (PS) descartáveis .....	41
5.2.2	Canecas de cerâmica .....	44
5.3	Análise dos Impactos e Interpretação dos Resultados.....	49
6	Resultados e Discussões.....	51
6.1	Análise dos impactos e Interpretação dos resultados .....	51
6.1.1	Copos plásticos (PS) descartáveis .....	51
6.1.2	Caneca de Cerâmica .....	53
6.1.3	Comparação entre os resultados do ciclo de vida dos copos plásticos e da caneca de cerâmica.....	55
7	Conclusão e Considerações finais .....	59
8	Referências Bibliográficas .....	62
	APÊNDICE A .....	66
	APÊNDICE B .....	68

# 1. INTRODUÇÃO

O crescente interesse sobre os problemas ambientais tem despertado um espírito crítico que está indo além do foco somente nos impactos ambientais decorrentes de processos produtivos industriais. Passou-se a questionar também os potenciais impactos ambientais resultantes de hábitos de consumo cotidianos, buscando-se optar por produtos e serviços de menor impacto sobre a qualidade do meio ambiente.

Um dos hábitos mais tradicionais dos brasileiros é o consumo de café. Conforme a Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC), o consumo de café no Brasil vem crescendo anualmente, tendo sido registrado no último ano (entre maio de 2011 e abril de 2012) um consumo per capita de quase 83 litros (ABIC, 2012). Um dos fatores determinantes ao crescimento anual desse consumo tem sido o aumento da ingestão de café nos ambientes de trabalho. Acompanhando essa tendência de consumo, cresce também o interesse nos produtos destinados à contenção do café, levando, especialmente, à discussão de qual a opção para servi-lo que apresenta os menores impactos do ponto de vista ambiental.

Copos plásticos descartáveis de poliestireno (PS) e canecas de cerâmica reutilizáveis (vide capítulo 4) têm sido os principais focos dessa discussão, uma vez que são os recipientes comumente utilizados nos ambientes de trabalho. Em primeira análise, os copos descartáveis proporcionam uma percepção de praticidade e higiene, no entanto são descartados em um único uso. Por outro lado, as canecas reutilizáveis proporcionam múltiplos usos, mas devem ser lavadas a cada utilização.

Buscando levar essa discussão a um nível onde os aspectos ambientais relacionados aos copos plásticos e as canecas de cerâmica fossem considerados para todo o seu ciclo de vida, estudos realizados em países europeus e nos EUA avaliaram essas alternativas através da metodologia de Análise do Ciclo de Vida (ACV). No entanto, uma vez que foram utilizadas informações regionais, os resultados e conclusões estabelecidos se mostram melhor relacionadas às realidades locais.

Assim, a fim de contribuir para essa discussão a nível nacional, esse trabalho visa melhor compreender os impactos ambientais do ciclo de vida desses recipientes e compará-los de maneira equivalente através da ACV em uma realidade próxima do cenário brasileiro - um ambiente de trabalho genérico em Porto Alegre.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. OBJETIVOS GERAIS

Avaliar o ciclo de vida de copos plásticos de poliestireno (PS) de 200 ml e de canecas de cerâmica de 260 ml utilizados para servir café em um ambiente de trabalho genérico em Porto Alegre – RS através da metodologia de Análise do Ciclo de Vida (ACV) e compará-los contribuindo para discussão de qual é a melhor alternativa para o consumo de café em um ambiente de trabalho.

### 1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver o conceito da ACV e sua aplicação como ferramenta de comparação entre alternativas;
- Construir um Inventário das principais variáveis e processos do ciclo de vida de cada uma das alternativas incluindo dados nacionais.
- Identificar potenciais impactos ambientais relacionados às alternativas e compará-los para a caneca de cerâmica e para o copo plástico.
- Agregar uma base de avaliação próxima do cenário brasileiro para comparação dessas alternativas, através de uma análise quantitativa com a utilização de um software de ACV.
- Oferecer aos tomadores de decisão nas empresas, que definem qual o tipo de recipiente será utilizado para servir café, bem como ao público consumidor uma forma de avaliação desses recipientes.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV)

O interesse em melhor compreender os impactos ambientais decorrentes de um sistema produtivo, promovendo a proteção ambiental através de soluções mais sustentáveis, foi o principal motivador para o desenvolvimento, especialmente a partir da década de 90, da metodologia de Análise do Ciclo de Vida (ACV).

A ACV compreende a compilação e avaliação de dados (entradas e saídas) de materiais e de energia dos diferentes processos de um sistema produtivo e dos potenciais impactos ambientais atribuídos ao funcionamento do produto ou serviço durante todo o seu ciclo de vida (NBR ISO 14040:2009; BARROS ET al, 2011; VALT, 2004). O ciclo de vida de um produto ou serviço compreende os estágios consecutivos e interligados de seu sistema produtivo, da aquisição ou geração da matéria prima a partir de recursos naturais até a sua disposição final (NBR ISO 14040:2009).

Conforme CARVALHO *apud* BARROS ET al (2011), a ACV tem como finalidade o estudo da complexa interação entre um produto e o ambiente e, para tal, utiliza a avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados ao ciclo de vida do produto. Ainda, a partir de uma ACV pode-se verificar que a prevenção à poluição é mais racional, econômica e efetiva do que uma ação para reparar os danos causados.

As aplicações diretas da ACV incluem principalmente o desenvolvimento e melhoramento de produtos, auxílio ao planejamento estratégico, auxílio na definição de políticas governamentais, marketing, entre outros (NBR ISO 14040:2009). Conforme BROCA (2008) a ACV tem diferentes aplicações e conforme as aplicações, diferentes abordagens são utilizadas. A Tabela 1 mostra alguns exemplos dos diferentes requerimentos de uma ACV conforme a sua aplicação.

**TABELA 1:** Exemplo de diferentes aplicações da ACV e seus requerimentos.

<b>Aplicação</b>	<b>Requerimento</b>
Tomada de decisão, escolha entre alternativas de produtos/serviços	Reflexão das consequências da escolha contemplada
Comunicação de mercado, por exemplo, declaração	Credibilidade e transparência na



ambiental de algum produto	revisão do processo
Desenvolvimento de produtos e compras (pouco tempo e competência no resultado para o usuário)	Resultados apresentados com um alto nível de agregação
Decisões em nível nacional, por exemplo, estratégias para tratamento de resíduos	Dados representativos das médias nacionais
Identificação e melhora de possibilidades, produto próprio	Dados específicos do site

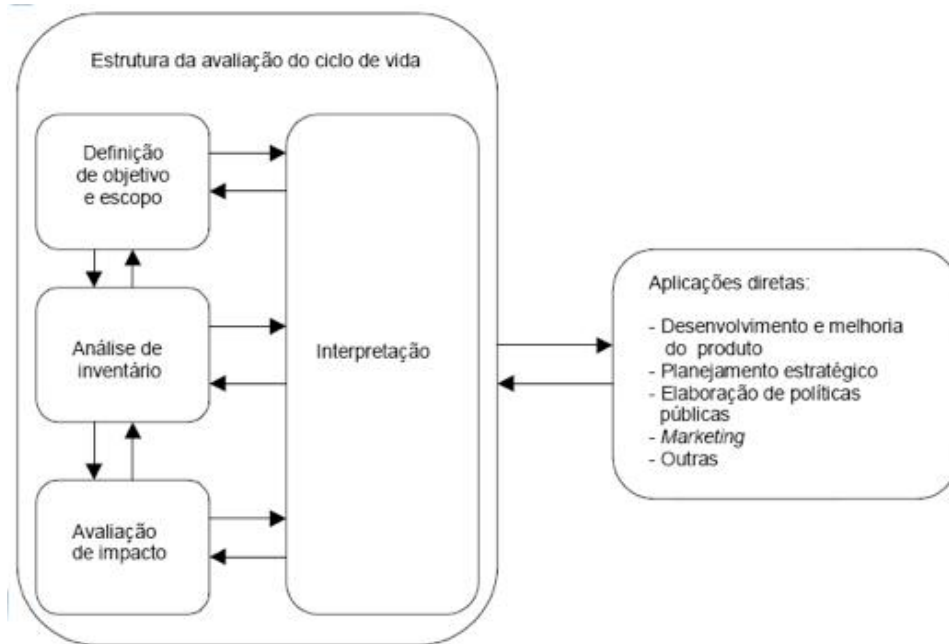
**Fonte:** The Hitch Hiker's Guide to LCA an orientation in the life cycle assessment methodology and application; H. Baumann, AM. Tillman *apud* BROCA, 2008.

## 2.2 FASES DA ACV CONFORME A ISO 14040

Com o notável desenvolvimento de trabalhos em ACV no início dos anos 90, especialmente na Europa e EUA, diferentes grupos do meio acadêmico e industrial começaram a se articular para o desenvolvimento de uma metodologia padronizada de ACV (BROCA, 2008; FERREIRA, 2004).

A norma ISO 14040 foi publicada em 1997, onde foram estabelecidos os princípios e estrutura dessa metodologia. A partir dessa data, outras três normas tratando de forma mais específica cada uma das fases do estudo (ISO 14041:1999, 14042:2000 e 14043:2000) foram estabelecidas. Atualmente estão em vigor as normas ISO 14040:2006 e 14044:2006 que foram publicadas em substituição às normas anteriores, objetivando uma reorganização do conteúdo, facilitando o seu entendimento sem alterar as exigências e fundamento técnico. Em 2009, essas normas foram traduzidas e publicadas pela ABNT no Brasil (NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044).

Conforme a NBR ISO 14040 (2009), a ACV consiste numa ferramenta iterativa que se divide em quatro etapas: Definição do objetivo e escopo, Análise de inventário, Análise de impacto e Interpretação de resultados. A figura 1 abaixo apresenta a estrutura iterativa da metodologia do ACV.



Fonte: ISO 14040 (2009)

FIGURA 1: Fases e estrutura iterativa da ACV.

### 2.2.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E DO ESCOPO

O objetivo da ACV deve estabelecer a aplicação pretendida do estudo, as razões para o seu desenvolvimento e o público a quem se destina. O escopo, por sua vez, deve incluir a identificação da função, da unidade funcional e do fluxo de referência, os limites do sistema analisado, os critérios para inclusão de entradas e saídas e a metodologia de análise de impactos a ser adotada. Esses aspectos devem ser definidos para que os sistemas sejam comparados de maneira equivalente.

De acordo com a norma NBR ISO 14040 (2009), um escopo bem definido garante que a extensão, profundidade e grau de detalhamento sejam suficientes para atender ao objetivo estabelecido. Segundo LIMA *apud* VALT (2004) a extensão define onde iniciar e parar o estudo, a largura define quantos e quais subsistemas incluir e a profundidade diz respeito ao nível de detalhes da análise.

### 2.2.2 ANÁLISE DO INVENTARIO

A fase de análise de inventário consiste na coleta de dados e na quantificação das entradas e saídas referentes a todas as etapas do ciclo de vida incluídas no escopo do estudo, como matéria-prima, energia, transporte, emissões para o ar, efluentes, resíduos sólidos, etc. As entradas e saídas devem estar preferencialmente contextualizadas ao escopo do estudo, em termos de tecnologia, localização geográfica, localização temporal, por exemplo, a fim de que não sejam consideradas informações inapropriadas que diminuam sua confiabilidade.

Conforme RIBEIRO (2003) essa fase tem sido constantemente citada pela maior parte dos autores como a principal barreira ao pleno uso da metodologia no Brasil, uma vez que não há informações nacionais sobre os ciclos de vida dos produtos disponíveis por meio de bancos de dados, a exemplo do que é feito na maioria dos países onde a ACV é amplamente utilizada. Dessa maneira, fontes de informações alternativas, como estudos técnicos setoriais, bancos de dados internacionais, por exemplo, são utilizadas.

A fase de análise do inventário é iterativa ao passo de que conforme os dados são coletados, mais se aprende sobre o sistema e novas informações e limitações são identificadas para o procedimento de coleta de dados (NBR ISO 2009). Conforme ALVARENGA (2010), a etapa de inventário é considerada a mais trabalhosa e a que consome mais tempo num estudo de ACV.

O inventário deve ser realizado em três etapas (NBR ISO 14040: 2009):

1. Coleta de dados, onde as informações quantitativas e qualitativas são coletadas para cada processo incluído na fronteira do sistema;
2. Cálculo dos dados, onde os cálculos e suposições devem ser documentados e relacionados aos processos unitários e a unidade funcional.
3. Alocação, onde as entradas e saídas devem ser alocadas aos diferentes produtos, de acordo com procedimentos definidos na etapa de Objetivo e Escopo.

### 2.2.3 ANÁLISE DE IMPACTOS

A fase de análise de impactos (AICV) tem a intenção de avaliar a magnitude e importância dos impactos ambientais do sistema avaliado, utilizando os resultados da fase de inventário. Esse processo envolve a associação dos dados do inventário com categorias e indicadores de impacto específicos buscando a compreensão desses impactos. O resultado dessa fase é a definição de um perfil ambiental do sistema de produto em estudo, conforme os objetivo e escopo definidos. A análise de impacto é estruturada em elementos obrigatórios e opcionais:

- **Elementos Obrigatórios:** Seleção de categorias de impacto e modelos de caracterização, conforme as preocupações ambientais identificadas; correlação dos resultados da ICV às categorias de impacto selecionadas (classificação); e cálculo dos resultados dos indicadores das categorias (caracterização), onde os dados são convertidos para unidades comuns e agregados dentro da mesma categoria de impacto.
- **Elementos Opcionais:** Normalização; agrupamento; ponderação e análise da qualidade dos dados.

A fase de AICV é geralmente realizada com auxílio de um software em ACV, tendo em vista a sua complexidade. O software auxilia na organização e manipulação dos dados do inventário e tem a capacidade de relacionar os dados a diferentes categorias de impacto segundo diferentes metodologias (modelos de caracterização). O capítulo 2.3 trata sobre as diferentes metodologias para a avaliação dos impactos.

### 2.2.4 INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS

Conforme ALVARENGA (2010) é na fase de Interpretação que as constatações da análise do inventário e da avaliação de impactos são combinadas, de forma consistente, com o objetivo e o escopo definidos, visando alcançar conclusões e recomendações para os tomadores de decisão.

As interpretações devem levar ainda a explicitar limitações que podem tornar os objetivos iniciais inalcançáveis, identificar as principais fases do ciclo de vida que contribuem para os impactos ambientais e fornecer recomendações finais (LUZ; JIJAKLI et al.; PIERAGOSTINI, MUSSAT, e AGUIRRE *apud* PIEKARSKI, 2012).

Não há uma referência na norma que indique um meio de avaliação da importância e influência de cada processo sobre as categorias de impacto avaliadas nos estudos de ACV. Geralmente se considera o critério de contribuição de 15 a 20% como relevante.

Ainda, a partir da interpretação dos resultados é possível sugerir alterações necessárias nas etapas anteriores (objetivo, escopo, coleta de dados e categorias de impacto), verificar a completeza, a sensibilidade e consistência dos dados, assim como as oportunidades de melhoria ao longo do ciclo de vida do sistema estudado.

### 2.3 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DO CICLO DE VIDA

Diversas metodologias de Avaliação de Impactos do Ciclo de vida (AICV) têm sido desenvolvidas em todo mundo nas últimas décadas. Entre os métodos mais citados e aplicados destacam-se o CML2, Eco-Indicator 99, EDIP 1997 e 2003, IMPACT +2002 e ReCiPe 2008 (CCI *apud* PIEKARSKI, 2012).

Esses modelos se diferem quanto ao tipo de abordagem - *midpoint*, *endpoint* e métodos híbridos- e a seu conjunto de categorias de impacto. Além disso, cada modelo apresenta uma caracterização específica das substâncias relacionadas no ICV em termos das unidades que expressam cada uma das categorias de impacto.

As metodologias de *midpoint* são constituídas de categorias de impacto que expressam a relação causa-efeito para os estágios iniciais da cadeia, como depleção dos recursos naturais e efeito sobre o aquecimento global, possuindo menores incertezas e menor subjetividade. Conforme CAVALETT ET al *apud* PIEKARSKI (2012), ao nível de *midpoint* todas as substâncias referentes ao inventário são adequadamente agregadas em categorias de impacto de acordo com uma característica comum na cadeia de causa-efeito do mecanismo ambiental. Estas características são indicadores de impacto em potencial.

Por outro lado, a modelagem a nível de *endpoint* avalia a relação causa-efeito até o dano sobre a saúde humana e qualidade do ecossistema, apresentando maiores incertezas. A caracterização a nível *endpoint* exige modelar todos os mecanismos ambientais que conectam os resultados do inventário com o respectivo impacto sobre as áreas de proteção. Uma vez que são direcionados ao dano, os métodos *endpoint* são geralmente considerados mais compreensíveis para os tomadores de decisão, apresentando mais relevância na tomada de decisão, no entanto, possuem alta subjetividade.

De acordo com ZHOU *apud* PIEKARSKI (2012), não há informações claras ou até mesmo orientações para a escolha de métodos mais adequados para AICV. Conforme SILVA *apud* PIEKARSKI (2012) a escolha do método de avaliação deve ser feita tomando-se como base a análise das questões ambientais relevantes para o ciclo de vida do produto estudado.

### 2.3.1 RECiPE 2008

O método ReCiPe 2008 se caracteriza como uma metodologia que compreende em harmonia abordagens *midpoint* e *endpoint* para avaliação de impactos do ciclo de vida. A sua metodologia é harmonizada em termos de princípios de modelagem e escolhas, oferecendo resultados orientados a problemas e a danos (GOEDKOOPT ET al, 2012).

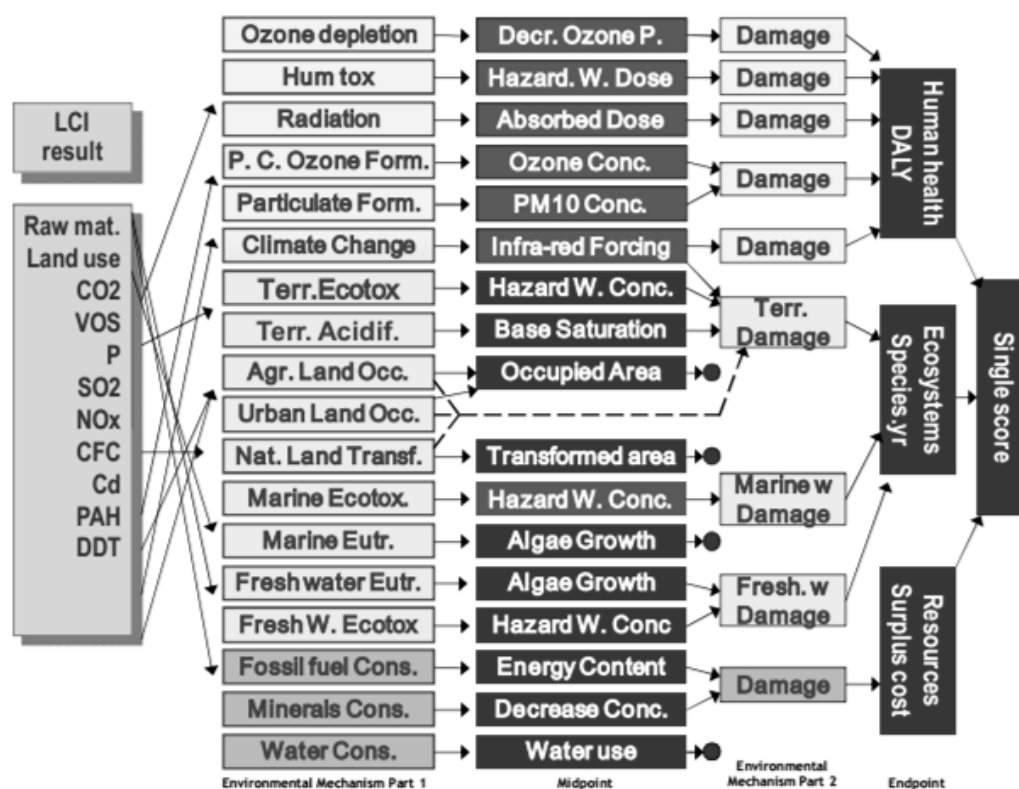
O nome ReCiPe é o acrônimo representado pelas iniciais das organizações responsáveis pelas principais contribuições em seu desenvolvimento: RIVM, a Radboud University Nijmegen, o centro de pesquisa CML da Universidade de Leiden e a empresa PRé Consults (PIEKARSKI, 2012).

Este método foi desenvolvido utilizando como base os métodos CML e Eco-Indicator 99, metodologias consagradas que fornecem a abordagem de *midpoint* e de *endpoint*, respectivamente.

As categorias de impacto de ambiental compreendidas no método ReCiPe são listadas no quadro abaixo e suas relações são apresentadas na figura 2.

**QUADRO 1:** Categorias de Impacto Ambiental do Método ReCiPe 2008.

<i>Midpoint:</i>	<i>Endpoint:</i>
Acidificação terrestre Depleção da camada de ozônio Depleção de água Depleção de combustíveis fósseis Depleção de recursos minerais Ecotoxicidade em água doce Ecotoxicidade marinha Ecotoxicidade terrestre Eutrofização de água doce Eutrofização marinha, Formação de material particulado Formação de oxidantes fotoquímicos Mudanças climáticas (Aquecimento Global) Ocupação de solo agrícola Ocupação de solo urbano Radiação ionizante Toxicidade humana Transformação de solo natural.	Danos à saúde humana Danos à diversidade dos ecossistemas Danos à disponibilidade de recursos.



Fonte: GOEDKOOOP et al, 2009. ReCiPe 2008, Report I: Characterisation. 2012

**FIGURA 2:** Relação entre o parâmetro (esquerda), Indicador *midpoint* (centro) e Indicador *endpoint* (direita) na metodologia Recipe 2008.

### 3 ANÁLISE DA CADEIA PRODUTIVA DO COPO PLÁSTICO DESCARTÁVEL DE POLIESTIRENO (PS)

#### 3.1 OBTENÇÃO DE MATÉRIA PRIMA

Os copos plásticos descartáveis são produtos de baixo valor agregado, podendo ser produzidos a partir de dois tipos de polímeros termoplásticos: o Poliestireno (PS) e o Polipropileno (PP). Tradicionalmente, copos plásticos descartáveis no Brasil são produzidos a partir de Poliestireno (Inovação Unicamp, 2006) uma vez que sua produção tem a tecnologia dominada.

Atualmente, no entanto, com o desenvolvimento de novas técnicas, a variação na utilização de cada uma delas vem sendo determinada principalmente pelo preço das resinas, pois os equipamentos estão aptos a utilizar ambas matérias primas (PEREIRA, 2006)

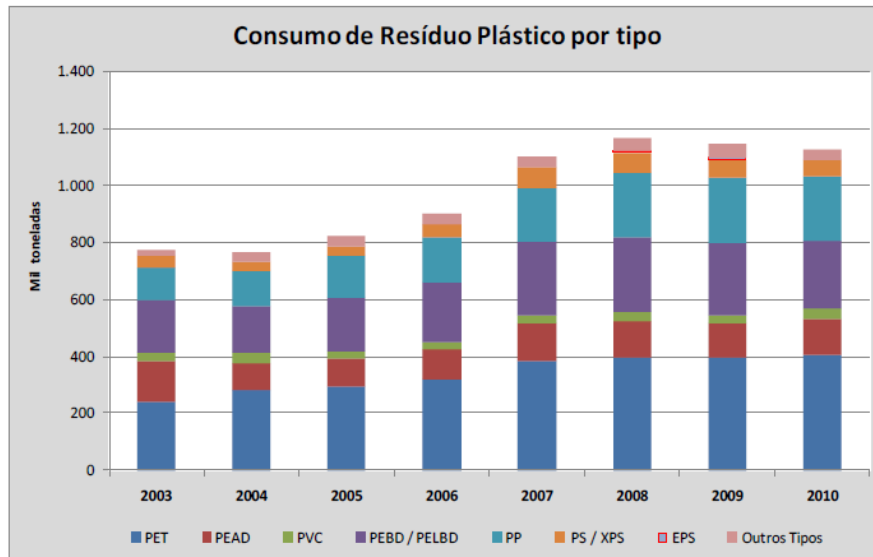
Do ponto de vista ambiental, o poliestireno apresenta duas principais desvantagens em relação ao polipropileno: sua constituição e reciclabilidade.

O Polipropileno (PP) possui estrutura polimérica simples, com poucos aditivos em sua composição, sendo menos tóxico. A Agência Internacional para Pesquisa em Câncer (IARC) classifica esse material como não cancerígeno, e até aponta sua utilização nas mais diversas formas e sua ampla presença no dia-a-dia das pessoas (IARC, 1999). O Poliestireno (PS), por outro lado, é constituído de um polímero aromático formado a partir de monômeros de estireno assim como de aditivos que podem conter butadieno. Essas substâncias são classificadas pela EPA (Agência de Proteção Ambiental dos EUA) como prováveis cancerígenos humanos (YEANG, 2006 apud ECODHOME, 2011; DERRICK, 2010, IARC, 1999).

O PP pós-uso pode ser facilmente reintegrado no ciclo produtivo, através de um processo de reciclagem simplificado. O processo de reciclagem do PS, entretanto é complexo e dispendioso (YEANG, 2006 apud ECODHOME, 2011). Suas cargas e aditivos, assim como a estrutura do polímero, fazem com que seja difícil o reprocessamento e moldagem em novos produtos sem a perda de qualidade (DERRICK, 2010). A maior parte dos materiais feitos de PS acaba sendo descartados em aterros. Os dados publicados recentemente pelo Plastivida



(2010) corroboram essas informações, uma vez que o consumo de resíduos plásticos de PS não possui números expressivos se comparado ao PP, aos polietilenos (PEBD/PEAD) e ao polietileno tereftalato (PET).



Fonte: Plastivida, 2010.

FIGURA 3: Consumo de resíduo plástico por tipo de resina.

O PS é o pioneiro entre os termoplásticos. A primeira planta industrial a operar comercialmente com sucesso foi a IG Farbenindustrie, na Alemanha, em 1930. Nos Estados Unidos, o poliestireno foi produzido em escala comercial, pela primeira vez, em 1938, pela Dow Chemical Company (MONTENEGRO, 2002).

Devido às suas propriedades especiais, a resina de PS pode ser utilizada numa vasta gama de aplicações. Na prática, é comercializado em três formas (MONTENEGRO, 2002; EIPPCB, 2007)

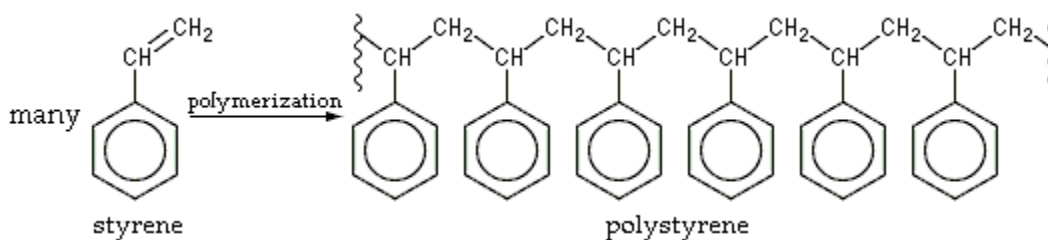
- **Cristal ou Standard (GPPS)** – Possui como características principais a sua dureza, transparência, o alto brilho e a fácil coloração (pela adição de agentes corantes). Entre suas aplicações principais estão embalagens para a indústria alimentícia, copos descartáveis, utensílios domésticos e caixas para CDs.
- **Poliestireno de Alto Impacto (HIPS)** – É um poliestireno modificado com elastômeros de polibutadieno. Esta resina é obtida pela polimerização de uma solução de estireno e butadieno. A concentração final do elastômero no HIPS acabado é de até

15% (EIPPCB, 2007a). O HIPS tem muitas aplicações, pois é de fácil processamento, de baixo custo e de boa performance. Os maiores usos incluem embalagens, copos descartáveis, eletrônicos, brinquedos, entre outros.

- **Poliestireno Expandido (EPS)** – É uma espuma rígida obtida por meio da expansão da resina PS durante a sua polimerização. Esta expansão é realizada injetando-se um agente químico na fase de reação da polimerização (hidrocarbonetos criogênicos, por exemplo, o gás carbônico).

A resina de poliestireno é obtida através da polimerização do estireno. O estireno é produzido através do etilbenzeno, que por sua vez é derivado do benzeno e do eteno (MONTENEGRO, 2002). O benzeno e o eteno são derivados da nafta petroquímica.

A polimerização industrial do estireno, para obtenção de poliestireno na forma GPPS e HIPS, é realizada por um mecanismo de reação via radicais livres. Os processos mais utilizados são os de polimerização em massa (bulk), que é o mais moderno, e os de polimerização em suspensão (MONTENEGRO, 2002).



FONTE: DERRICK,2010.

**FIGURA 4:** Estrutura do polímero de poliestireno.

Os principais fornecedores de poliestireno para produção de copos descartáveis no Brasil estão localizados no Rio Grande do Sul, Amazonas e São Paulo (PEREIRA, 2006). As principais empresas produtoras de poliestireno são a Dow Química (SP), Basf (SP), Innova (RS) e Videolar (AM) (PEREIRA, 2006; MONTENEGRO, 2002). A Dow Química e a Innova possuem unidades integradas, com produção própria de matéria prima, respectivamente em Camaçari (BA) e Triunfo (RS). A Basf e a Videolar só produzem o

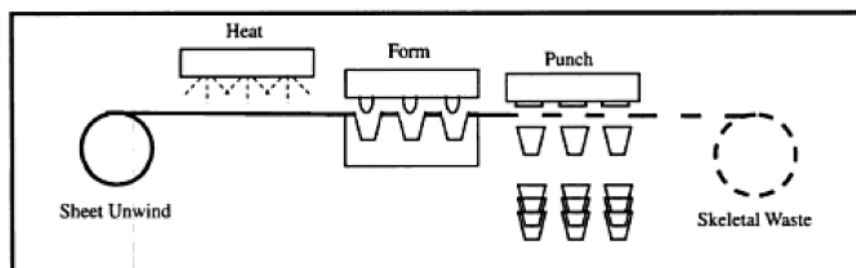
poliestireno, sendo que a primeira consome estireno da CBE em Cubatão (SP), e a segunda importa o estireno para suas necessidades (MONTENEGRO, 2002).

### 3.2 PRODUÇÃO DE COPOS PLÁSTICOS

Os copos descartáveis são produtos termoformados. De acordo com (Plástico Moderno *apud* LEÃO, 2009) o mercado de termoformados é bastante amplo e responde por 5,93% de todo o material termoplástico consumido no Brasil, sendo o principal produto os copos e pratos descartáveis que utilizam 22% da demanda total de PS e 4,8% de PP no Brasil.

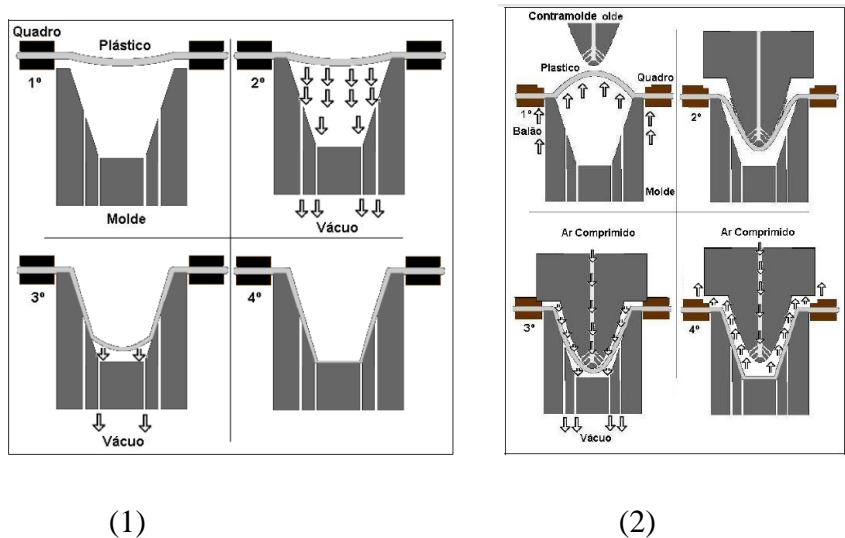
A termoformagem se adéqua a grandes produções (varias peças por ciclo) de itens de paredes extremamente reduzidas, como os copos descartáveis (entre 0,2 mm e 0,3 mm) ou peças de tiragem limitada e grande massa como as cadeiras de dentistas (de 5mm a 6 mm) e outros (Revista Plástico Moderno,2001)

O método de moldagem de termoplásticos por termoformagem consiste em conformar uma chapa de plástico extrusado previamente aquecida através de vácuo associado ou não à pressão sobre um molde. Uma chapa de plástico extrusado é levada a uma câmara para ser aquecida. Depois de aquecida, a chapa é então sugada ou pressionada na direção de um molde, aderindo à superfície do molde formando os contornos da peça ao mesmo tempo em que resfria. Em sequencia, é extraída, passando para área de corte para remoção das sobras e acabamento do produto. As sobras do produto podem ser recicladas internamente ao processo.



**Fonte:** Hannay (2002) *apud* Final Report: Life cycle inventory of plastic fabrication processes: injection molding and thermoforming, 2011.

**FIGURA 5:** Fases principais do processo de termoformagem: aquecimento, conformação, corte das aparas.



Fonte: Eletro Forming (2009) *apud* LEAO, 2009.

**FIGURA 6 :** Exemplo de conformação de copos plásticos: (1) termoformagem à vácuo em molde fêmea e (2) moldagem sob pressão.

A indústria brasileira de copos plásticos descartáveis constitui-se de menos de 25 empresas, sendo que 8 delas, estão situadas em Santa Catarina, nos municípios de São Ludgero, Içara, Criciúma, Orleans e Urussanga, constituindo o maior pólo de produção de descartáveis do Brasil – cerca de 60% da produção nacional (PEREIRA, 2006). Somente a Microrregião de Criciúma (Criciúma, Içara e Urussanga) concentra cerca de 35% da produção nacional.

### 3.3 DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS

Os copos de poliestireno são reciclados principalmente através da reciclagem mecânica, onde os resíduos plásticos são convertidos em grânulos que podem ser reutilizados na produção de outros produtos. As etapas básicas desta forma de reciclagem são: um sistema de coleta dos descartes (coleta seletiva, coleta municipal, catadores), separação e triagem dos diferentes tipos de plásticos, moagem, limpeza para retirada de sujeiras e restos de conteúdos (lavagem) e revalorização (produção do plástico granulado) (Plastivida, 2012).

A reciclagem mecânica de polímeros é a mais utilizada no Brasil devido a vários fatores como custo de mão-de-obra, baixo investimento para instalação de uma planta de reciclagem, grande volume de polímero pós-consumo, etc.(SPINACÉ; DE PAOLI, 2005).

Embora seja possível a reciclagem de copos de poliestireno, os seus índices de reciclagem ainda são baixos (Plastivida, 2010; ESPINDOLA, 2004) e a maior parte dos resíduos acaba sendo destinado junto aos aterros sanitários municipais.

## 4 ANÁLISE DA CADEIA PRODUTIVA DA CANECA DE CERÂMICA

### 4.1 MATÉRIA-PRIMA: CERÂMICA BRANCA – LOUÇA OU FAIANÇA

O setor cerâmico é amplo e heterogêneo, dividido em sub-setores ou segmentos em função de diversos fatores, como matérias-primas, propriedades e áreas de utilização (SILVA & SILVA, 2007). O setor da Cerâmica Branca compreende os produtos obtidos a partir de uma massa de coloração branca, em geral recobertos por uma camada vítrea transparente e incolor (OLIVEIRA & MAGANHA, 2008). Esse setor agrupa uma variedade de produtos, tais como as louças e porcelanas, louças sanitárias (peças de lavatório e higiene) e porcelana técnica. As canecas de cerâmica são características do segmento denominado Louça de Mesa ou Louças e Porcelanas.

Uma classificação usual da cerâmica branca baseia-se no teor em peso da água absorvida pelo corpo cerâmico. No entanto, essa classificação, bem como o desempenho dos produtos, ainda não estão devidamente normalizados (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS *apud* COELHO, 2009; SILVA & SILVA, 2007). Denomina-se Porcelana quando a absorção é zero (pode-se admitir até 0,5%); Grês, os materiais com baixíssima absorção (geralmente entre 0,5% e 3%); e Faiança (ou Louça), os corpos mais porosos (geralmente superior a 3%) (SILVA & SILVA, 2007).

Essa diferenciação entre os corpos cerâmicos em termos da absorção é diretamente relacionada com o tipo de argila com a qual foram produzidas e a temperatura a qual foram submetidas. Conforme esses fatores, as cerâmicas são definidas conforme abaixo (baseado em SILVA & SILVA, 2007) :

- **Porcelanas:** As porcelanas são fabricadas com massas constituídas a partir de argilo minerais (argila plástica e caulim), quartzo e feldspatos bastante puros, que são queimados a temperaturas superiores a 1250° C. As porcelanas apresentam alta qualidade, porosidade baixa e podem ser conformadas em produtos de pouca espessura. A composição mineralógica típica das porcelanas é 55% de caulim, 15% de feldspato e 30% de sílica (EIPPCB, 2007b).
- **Grês:** O grês é feito a partir de matérias-primas menos puras, podendo incluir rochas cerâmicas, como granito, como fundentes, ao invés de feldspato puro. Os produtos são

queimados por volta de 1250° C e, mesmo sendo pouco porosos após a queima, podem ser pintadas ou esmaltadas para um efeito decorativo. A composição mineralógica típica das peças de grês é 30% de feldspato e 70% de sílica (EIPPCB, 2007b).

- **Faiança** (ou Louças): são compostos de massas semelhantes ao grês, mas usualmente podem incorporar, diferentemente da composição do grês, fundentes carbonáticos, portadores dos minerais calcita e dolomita. As peças são fabricadas a temperaturas inferiores a 1250° C, caracterizam-se pela maior porosidade e menor resistência do que as porcelanas e o grês. Assim, as peças de faiança devem ser esmaltadas para o uso. A composição mineralógica típica das peças de faiança é 25% de caulin, 15-25% de argila-plástica (*Ball Clay*), 0-15% de feldspato, 0-35% de talco e 20-35% de sílica (EIPPCB, 2007b). Os produtos fabricados de faiança incluem aparelhos de jantar, aparelhos de chá, xícaras e canecas, peças decorativas, etc.

A qualidade dos minerais industriais utilizados na produção de peças cerâmicas é de grande importância, pois o processo produtivo envolve operações (como a preparação de esmaltes e a queima) onde o controle das propriedades das matérias primas é imprescindível.

No mercado brasileiro, o suprimento de matérias-primas, realizado principalmente por pequenas e médias empresas de mineração, é deficiente em termos de qualidade e constância na oferta (COELHO, 2009). Entretanto, há uma tendência de que os minerais utilizados como matéria prima para peças de cerâmica branca passem a ser produzidos em pólos logísticos de base mineral (ou centrais de massa visando o atendimento das demandas regionais). Atualmente, varias empresas utilizam como matéria prima uma massa cerâmica pré-processada. O fornecimento de massa cerâmica pré-processada é feito principalmente por duas empresas, uma do Paraná e outra do Espírito Santo.

## 4.2 PRODUÇÃO DAS CANECAS DE CERÂMICA

Em geral, as principais etapas do processo de fabricação de Louças de Mesa, compreendem a preparação da matéria-prima e da massa, a formação das peças, a secagem, a esmaltação e a decoração (opcional) e o tratamento térmico.

A preparação da matéria-prima compreende as etapas de homogeneização dos diferentes materiais, incluindo seu beneficiamento (redução granulométrica em moinhos) e

purificação. A etapa de preparação da massa consiste na dosagem das diferentes matérias-primas e aditivos, na sua mistura e homogeneização. Os diferentes tipos de massas são preparados de acordo com a técnica a ser empregada para dar forma às peças, sendo que para as Louças de Mesa, as massas podem ser classificadas em suspensão (barbotina) e massa plástica. A primeira é uma “solução” de argila para obtenção de peças em moldes de gesso ou resinas porosas e a segunda é constituída de um sólido maleável, para obtenção de peças por extrusão, seguida ou não de torneamento ou prensagem.

Dependendo das características do produto, tais como geometria e dimensões, propriedades das matérias-primas, fatores econômicos e outros, diferentes processos de conformação das peças podem ser utilizados. A transformação das matérias-primas em corpo de forma geométrica como a da caneca pode ocorrer por meio de dois processos principais (adaptado de OLIVEIRA & MAGANHA, 2008):

- **Colagem/Fundição em molde:** Esta técnica é realizada despejando-se a barbotina num molde de gesso ou resina, onde permanece até que a água contida na suspensão seja absorvida pelo molde e as partículas sólidas se acomodem em sua superfície, formando o que será posteriormente a parede da peça. Após a fundição, os moldes são submetidos à uma injeção de ar comprimido, para expelir a água de seu interior e permitir que os mesmos sejam reutilizados.
- **Extrusão e torneamento:** Nesta técnica, a massa plástica é colocada numa extrusora, onde é compactada e forçada através de bocal com determinado formato. Como resultado obtém-se uma coluna extrudada, com seção transversal e com o formato e dimensões desejadas. A peça adquire seu formato final sendo conformada em tornos manuais ou mecânicos para o seu formato final.

Após a etapa de formação, as peças em geral ainda contém grande quantidade de água, proveniente da preparação da massa. Para evitar tensões e, conseqüentemente, defeitos nas peças (como trincas, bolhas, empenos, etc) é necessário eliminar essa água de forma lenta e gradual até um teor suficientemente baixo, de 0,8% a 1,5% de umidade residual (OLIVEIRA & MAGANHA, 2008). O calor de secagem é fornecido principalmente por queimadores a gás natural.

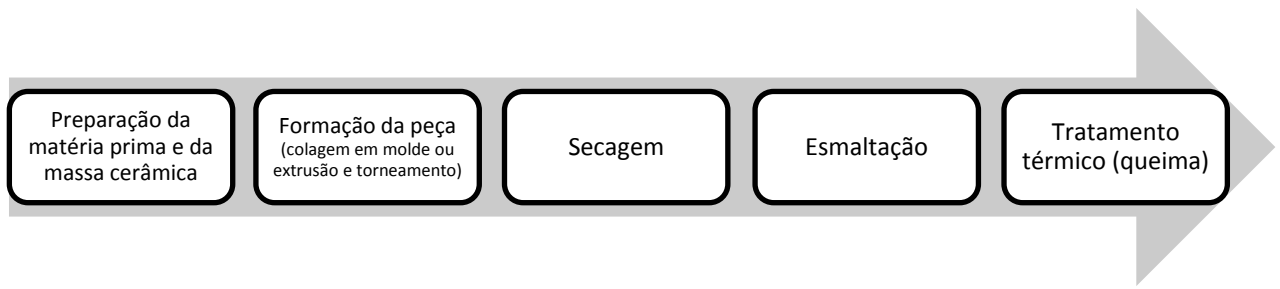
Posterior à etapa de secagem, ocorre a etapa de esmaltação onde o produto recebe uma camada fina e contínua de um material denominado esmalte ou vidrado, que após a queima adquire aspecto vítreo. Esta camada contribui para o aspecto estético, higiênico e melhora



algumas das propriedades físicas, principalmente de resistência mecânica e elétrica (OLIVEIRA & MAGANHA, 2008). A composição dos esmaltes é bastante variada e sua formulação depende das características do corpo cerâmico, das características finais do esmalte e da temperatura de queima. Todos os esmaltes, no entanto, possuem três componentes básicos: a sílica (para proporcionar o aspecto vítreo), a alumina (para favorecer a aderência do esmalte ao corpo cerâmico) e o fundente (para diminuir o ponto de fundição dos materiais com maiores temperaturas). Se uma substância não é onerosa, não é tóxica, é insolúvel em água e fonte de sílica, alumina ou fundente, ela pode estar apta a ser utilizada como componente de um esmalte.

O tratamento térmico (ou queima) é de fundamental importância na fabricação dos produtos cerâmicos. Da eficiência desta etapa dependem o desenvolvimento das propriedades finais destes produtos, as quais incluem seu brilho, cor, porosidade, estabilidade dimensional, resistência à flexão, a altas temperaturas, à água, ao ataque de agentes químicos, e outros (OLIVEIRA & MAGANHA, 2008). Após a redução da umidade (secagem) e o recebimento da camada de esmalte, as peças são encaminhadas para fornos contínuos ou intermitentes e submetidas a um tratamento térmico entre 800°C e 1.700°C (no caso da faiança, as temperaturas são inferiores a 1250°C). A energia necessária para essa etapa geralmente provém da queima de gás natural (OLIVEIRA & MAGANHA, 2008; EIPPCB, 2007b)

A indústria de porcelana e louça de mesa brasileira é composta por mais de 500 empresas distribuídas predominantemente nas regiões Sul e Sudeste (RUIZ et al, 2001). As micro e pequenas empresas (MPEs) são dominantes, embora existam também algumas empresas de médio a grande portes localizadas no sul do País. As maiores indústrias nacionais que atuam no segmento são a Cerâmica Oxford e a Porcelana Schmidt (SC), a Tirolesa (PR) e as Indústrias Pozzani (SP) (RUIZ et al, 2001). A Cerâmica Oxford possui 65% da sua produção composta por faiança (produtos populares) e porcelana. A Porcelana Schmidt detém 50% do mercado brasileiro de porcelana. A principal ameaça aos produtos nacionais são os produtos chineses, especialmente no ramo de faiança e porcelana (RUIZ et al, 2001; COELHO, 2009).



**FIGURA 7:** Principais etapas no processo de produção da caneca de cerâmica.

### 4.3 DESTINAÇÃO FINAL

Os resíduos cerâmicos pós-consumo são materiais inertes e são encaminhados a aterro sanitário. A reciclagem de materiais cerâmicos no setor de Louça de Mesa ocorre principalmente na fase de pré-consumo, onde as perdas de produto ao longo do processo, especialmente na etapa de queima, podem ser incorporadas novamente no ciclo produtivo de produtos novos dentro da própria empresa.

## 5 METODOLOGIA

O estudo comparativo entre os copos plásticos de poliestireno e a caneca de cerâmica, foi desenvolvido conforme os princípios e etapas da metodologia de Análise do Ciclo de Vida (ACV) descritos na NBR ISO 14040:2009. O *software* GaBi versão 4, uma plataforma alemã de avaliação de ciclo de vida, foi utilizado para auxiliar principalmente na etapa de avaliação dos impactos ambientais.

### 5.1 OBJETIVO E ESCOPO

#### 5.1.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO

Esse estudo se constitui no Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito à obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Pretende-se através desse estudo realizar a comparação entre o desempenho ambiental de copos plásticos descartáveis de poliestireno (PS) e de canecas de cerâmica reutilizáveis utilizados para servir café em ambientes de trabalho na cidade de Porto Alegre – RS, através da avaliação de impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida de cada uma das alternativas. O público alvo são os tomadores de decisão nas empresas que definem qual o tipo de recipiente será utilizado para servir café bem como o público consumidor desses recipientes.

#### 5.1.2 DEFINIÇÃO DO ESCOPO

##### 5.1.2.1 FUNÇÃO E UNIDADE FUNCIONAL

A função pretendida dos copos plásticos e das canecas de cerâmica é servir doses de café ao longo dos dias em um ambiente de trabalho em Porto Alegre.

O ambiente de trabalho compreende o local de uma empresa onde os empregados podem ter momentos de pausa, consumir lanches e servir seu café. Os copos e as canecas são

dispostos junto ao recipiente que comporta o café nesse local. Os copos e as canecas estão sendo oferecidas pela empresa e, no caso da caneca, as mesmas são deixadas no trabalho.

O copo plástico e a caneca de cerâmica mantêm a sua integridade durante todo o uso. Assume-se que os copos plásticos estão de acordo com a norma NBR 14.865:2002 – Copos Plásticos Descartáveis.

Uma pesquisa realizada pela empresa britânica Ideasbynet (PRNewswire, 2011) revelou que em média uma caneca promocional é utilizada por 14.25 meses, servindo 4.75 doses de bebidas quentes por dia, fazendo um total de usos de mais de 2000 vezes, por um único dono até ser descartada. Por outro lado, o instituto holandês TNO (LIGTHART & ANSEMS, 2007) em seu estudo utiliza como cenário base um ciclo de vida de 3000 usos antes do descarte para xícaras e pires de cerâmica. No entanto, esse mesmo estudo ainda considera em suas conclusões que mesmo não havendo outras fontes públicas indicando o ciclo de vida desses recipientes, um ciclo de vida mais realista seria de 1000 usos.

Portanto, baseado nos dois estudos citados e tendo em vista um ambiente de trabalho onde a caneca fica a disposição para ser utilizada por muitas pessoas ao longo dos dias, assume-se para esse estudo que as canecas de cerâmica sejam passíveis de serem utilizadas 2000 vezes antes de serem descartadas.

A unidade funcional é definida como sendo:

**“Servir 2000 doses de café em um ambiente de trabalho em Porto Alegre”.**

A unidade funcional permite que os copos de plástico descartável e a caneca de cerâmica reutilizável sejam comparados de uma maneira equivalente. Assume-se que em todas as doses servidas tenha sido comportada a mesma quantidade de café em ambos recipientes.

A unidade funcional é dimensionada de forma que mesmo com o uso de recipientes descartáveis, uma quantidade significativa de material cerâmico tenha que ser utilizado.

Uma vez que o desempenho ambiental do copo plástico descartável é servir 1 (uma) dose por copo e que da caneca seja servir 2000 (duas mil) doses por caneca, o fluxo de referência é definido como 1(uma) caneca de cerâmica para 2000 (dois mil) copos de plástico para atender a mesma unidade funcional. As canecas são lavadas todas as vezes após o seu uso.

Os copos plásticos avaliados possuem capacidade de 200 mL, massa mínima de 2,2g (conforme NBR 14.865:2002) e foram produzidos através do processo de termoformagem.



**FIGURA 8:** Modelo de copo plástico de poliestireno (PS) avaliado no estudo.

Conforme a unidade funcional, o fluxo de referência é relativo a 4,4 kg de copos de plásticos de poliestireno.

O volume das canecas mais populares é de 260 mL e o seu peso médio é de 0,3 kg, sendo esses valores assumidos para a caneca avaliada.



**FIGURA 9:** Modelo de caneca de cerâmica avaliado no estudo.

Uma vez que a caneca de cerâmica é utilizada 2000 vezes antes de ser descartada, 1 (uma) caneca de cerâmica é requerida para constituir a unidade funcional. Logo, o fluxo de referência diz respeito a 0,3kg de caneca de cerâmica.

#### 5.1.2.2 LIMITES DOS SISTEMAS AVALIADOS

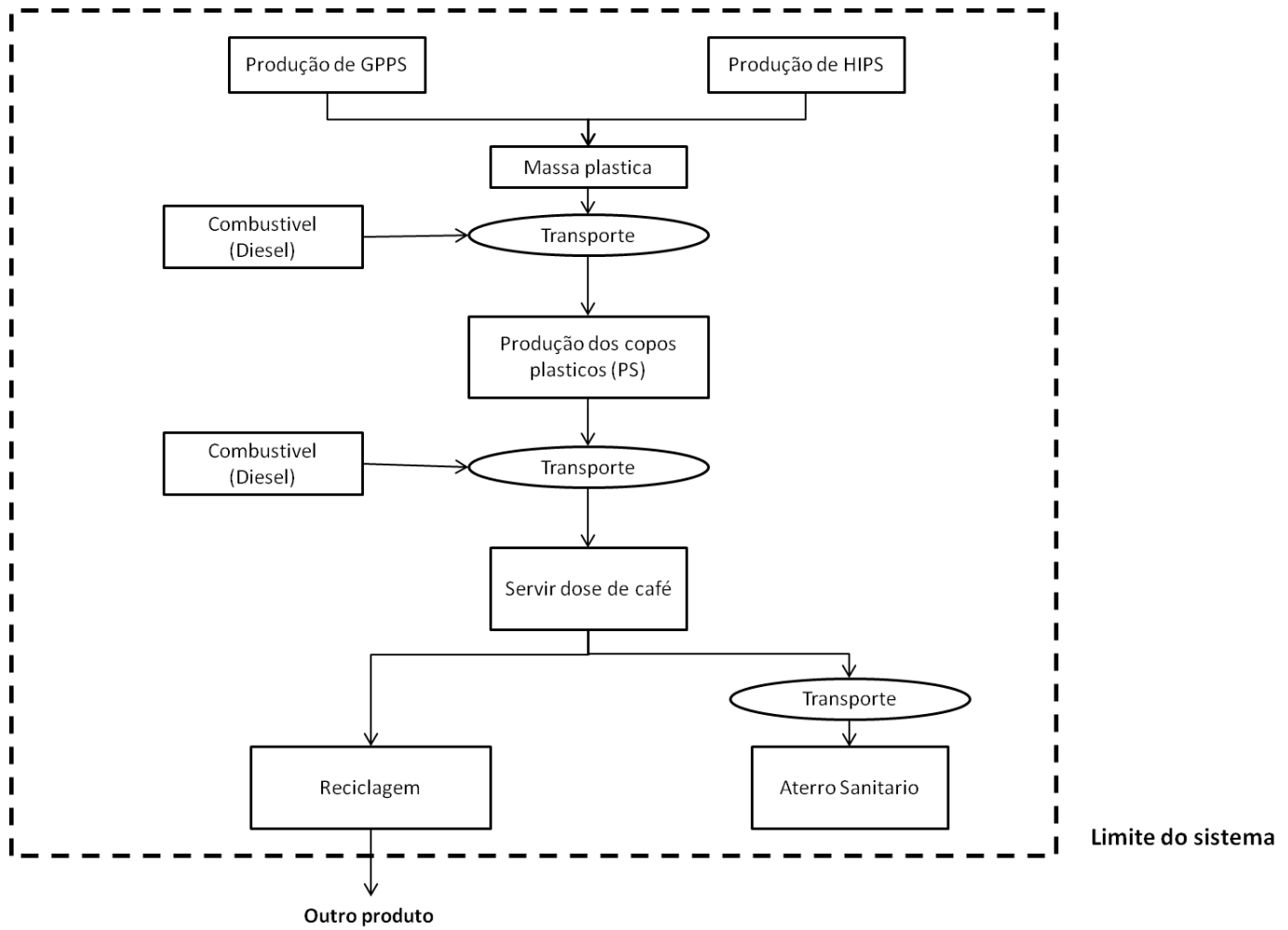
A fronteira dos sistemas avaliados foi definida tendo em vista o objetivo do estudo e a limitação de tempo para o desenvolvimento do mesmo. Assim, as seguintes etapas estão incluídas na análise:

- Produção das matérias-primas
- Produção dos copos descartáveis e da caneca reutilizável
- Utilização do copo plástico e sua destinação final (Aterro Sanitário)
- Utilização da caneca de cerâmica (incluindo insumos para sua lavagem, tratamento do efluente da lavagem e destinação final dos resíduos de caneca em aterro sanitário)
- Transporte das matérias primas até o local de produção do recipiente
- Transporte dos copos plásticos e da caneca para o consumidor final (usuário) assim como a para o local de destinação final.
- Produção do combustível do veículo de transporte (caminhão à diesel)

Por outro lado, as etapas seguintes estão excluídas da análise:

- Produção das máquinas e moldes para produção dos copos descartáveis e da caneca de cerâmica.
- Produção de embalagens
- Transporte das matérias primas do local de sua extração até o local de sua transformação
- Produção e preparação do café
- Produção de utensílios para a lavagem das canecas

As figuras 9 e 10 apresentam, respectivamente, a fronteira dos sistemas avaliados dos sistemas copos plásticos descartáveis e da caneca de cerâmica.



**FIGURA 10:** Limite do sistema avaliado para os copos plásticos de poliestireno (PS).

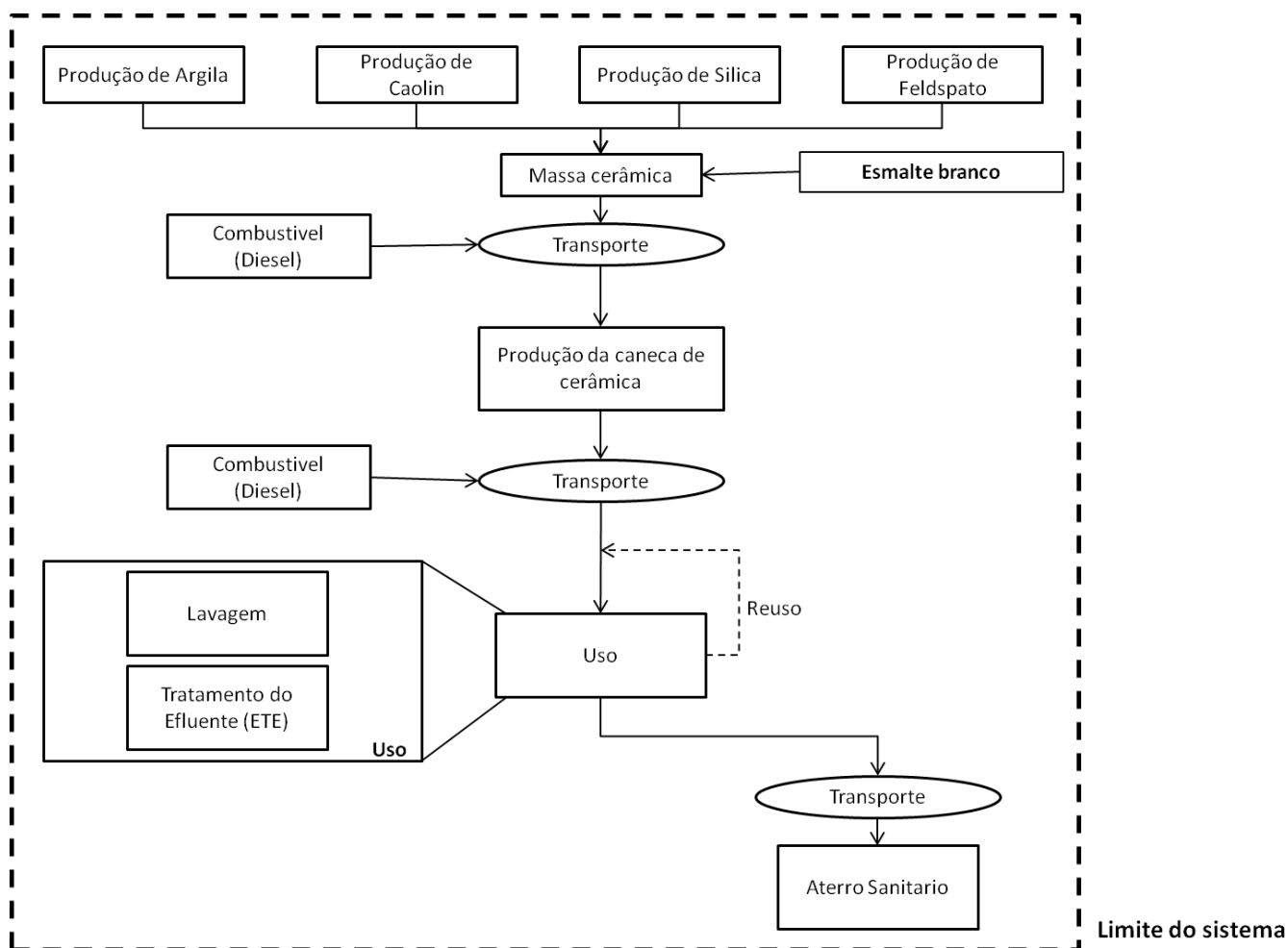


FIGURA 11: Limite do sistema avaliado para a caneca de cerâmica.

### 5.1.2.3 QUALIDADE DOS DADOS

Os dados utilizados no estudo foram extraídos de trabalhos técnicos e de estudos em ACV realizados por entidades de confiabilidade, como o Ministério de Minas e de Energia e a Organização Holandesa para Pesquisa de Ciência Aplicada (TNO). Os dados representam a realidade média das tecnologias empregadas nos processos e materiais avaliados nesse estudo. A correlação temporal dos dados é inferior a 10 anos. Buscou-se dar preferência a dados nacionais, no entanto na falta dos mesmos foram utilizados dados representativos da mesma tecnologia sem correlação geográfica. A qualidade dos dados não foi avaliada por nenhuma metodologia de análise.



#### 5.1.2.4 METODOLOGIA DE ANALISE DE IMPACTOS E CATEGORIAS DE IMPACTO AVALIADAS

Como o Brasil não apresenta um método de avaliação de impactos consolidado condizente com as especificidades brasileiras (PIEKARSKI, 2012), optou-se por uma metodologia de avaliação de impactos com abordagem *midpoint* tendo em vista o critério de menor subjetividade. As etapas opcionais de normalização, agrupamento, ponderação e análise da qualidade dos dados não foram realizadas nesse estudo.

A metodologia de análise de impactos empregada no estudo foi a ReCiPe 2008, uma vez que é a metodologia mais recente e inclui categorias de impacto condizentes com as questões ambientais relacionadas ao ciclo de vida dos recipientes, incluindo uma categoria que avalia o consumo de água que é um ponto crítico para a etapa de uso do ciclo de vida da caneca de cerâmica. Ainda, sua estrutura *midpoint* é baseada na metodologia CML que é a mais aplicada e consagrada dentre as metodologias *midpoint*.

A escolha das categorias de impacto incluídas no estudo baseou-se em critérios de escala (abrangência local ou global) e relação com etapas críticas do ciclo de vida dos produtos (como produção de matérias primas e do produto em si). As categorias de impacto avaliadas foram:

- **Potencial de Aquecimento Global (GWP) [kg CO<sub>2</sub> eq.]:** avalia a contribuição à absorção do calor irradiado pela superfície terrestre de determinada substância em termos de uma emissão equivalente de CO<sub>2</sub>.
- **Potencial de Eutrofização de água doce (EP) [kg P eq.]:** avalia a adição de nutrientes à água doce capaz de provocar alterações aos ecossistemas aquáticos devido à diminuição da taxa de oxigênio livre em termos da emissão de fósforo equivalente.
- **Potencial de Acidificação terrestre (AP) [kg SO<sub>2</sub> eq.]:** avalia a alteração do teor de acidez do solo que provoca efeitos danosos tanto para a fauna quanto para a flora. O Potencial de Acidificação considera não só os mecanismos de dispersão das substâncias enquadradas nessa categoria, mas também, a forma como ocorre sua deposição.
- **Depleção de água (W) [m<sup>3</sup>]:** avalia o consumo de água ao longo do ciclo de vida do produto.

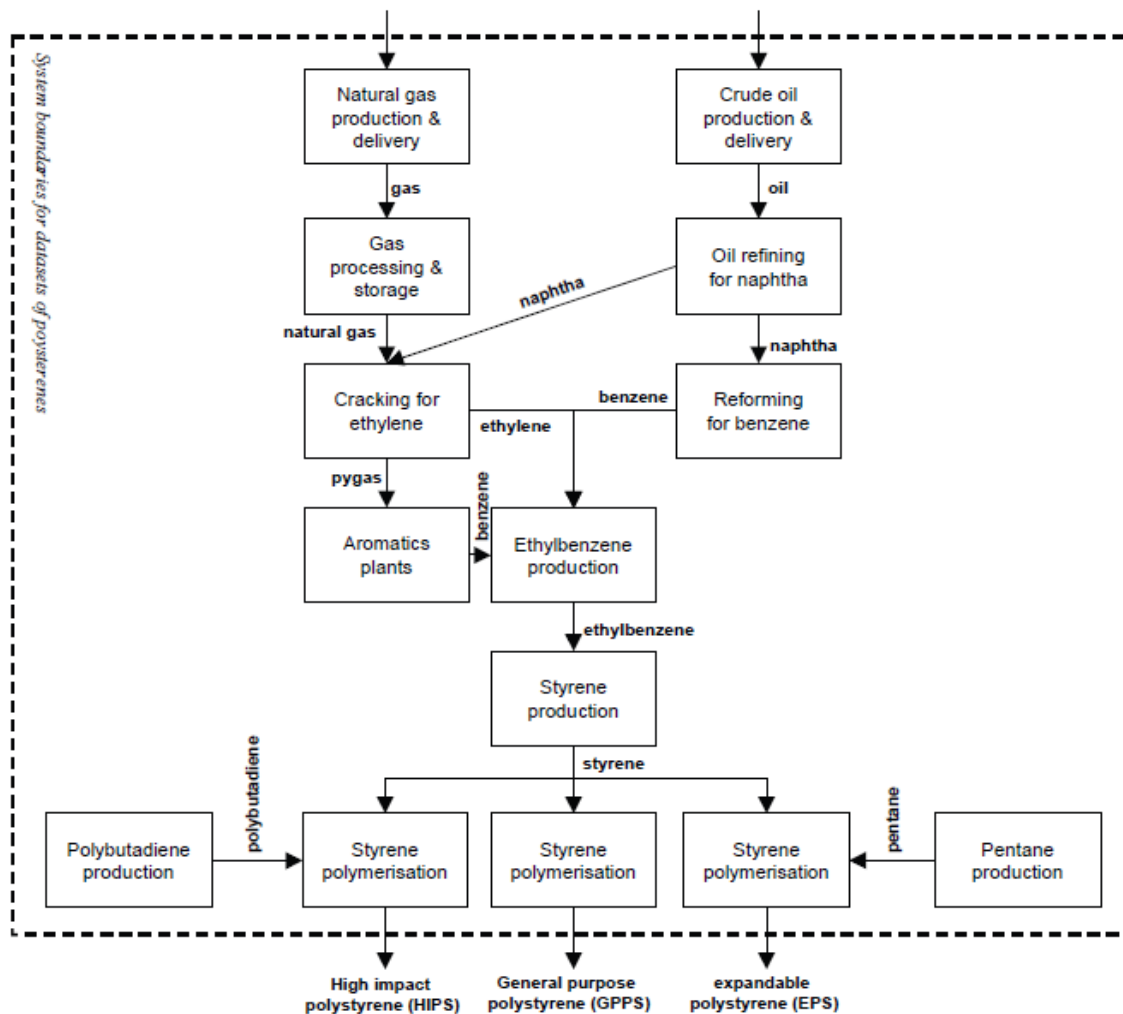
## 5.2 INVENTARIO DO CICLO DE VIDA

Os dados necessários identificados para se atingir o objetivo pretendido do estudo foram coletados e quantificados dentro dos limites e limitações anteriormente definidos. A escolha de dados relevantes foi baseada principalmente nas informações reunidas na análise do ciclo produtivo e nos aspectos ambientais identificados nas etapas do ciclo de vida de cada um dos recipientes.

### 5.2.1 COPOS PLÁSTICOS (PS) DESCARTÁVEIS

#### 5.2.1.1 MATÉRIA-PRIMA

Os copos plásticos avaliados no estudo são feitos de poliestireno onde foi considerado que 60% é GPPS e 40% HIPS (LIGTHART & ANSEMS, 2007). Os dados utilizados para a produção de ambas resinas foram extraídos do inventario da Ecoinvent (HISCHIER, 2007) que foi baseado no conjunto de informações da Plastics Europe (Associação das Industrias de Plástico na Europa). As informações representam a realidade média da indústria do plástico europeia. A figura abaixo apresenta uma visão esquemática das etapas incluídas no inventario da produção do GPPS e do HIPS.



Fonte: HISCHIER, 2007.

FIGURA 12: Visão esquemática das etapas incluídas no inventário da produção do GPPS e do HIPS.

### 5.2.1.2 PRODUÇÃO DOS COPOS PLÁSTICOS

Os copos de poliestireno foram produzidos pelo processo de termoformagem conforme descrito no capítulo 3.2. Os dados de consumo de energia elétrica e de geração de resíduos foram baseados no estudo produzido por (LIGTHART & ANSEMS, 2007) e representam a realidade média do oeste europeu. Foi assumida a reciclagem interna dos resíduos da produção dos copos plásticos, por ser o método mais frequente de produção (LIGTHART & ANSEMS, 2007).

**QUADRO 2:** Dados Inventario: Produção das Matérias-Primas dos Copos Plásticos (PS).

<b>Aspecto</b>	<b>Caracterização</b>	<b>Fonte da informação</b>
Produção dos copos plásticos	Extrusão, formação do filme plástico e termoformagem. Dados representativos da tecnologia moderna utilizada no oeste europeu.	LIGHTHART & ANSEMS, 2007

### 5.2.1.3 TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS

Para o estudo foram consideradas duas destinações possíveis dos copos de plástico: a reciclagem e o aterro sanitário.

Conforme ESPINDOLA (2004), a reciclagem de PS pós-consumo no estado do RS é de 4%. Assim, o cenário considerado para o fim de vida dos copos foi de 4% sendo encaminhado para reciclagem e 96% para aterro sanitário.

Os impactos decorrentes da reciclagem foram avaliados através de uma metodologia de expansão de fronteiras, onde os insumos identificados na produção de um novo produto a partir da parcela reciclada são reintroduzidos dentro da fronteira do estudo.

Conforme CALDERONI (1997), o processo de reciclagem utiliza cerca de 22% da energia demandada para a produção de um novo produto a partir de matéria prima virgem. Sendo assim, 78% da energia elétrica utilizada para a produção equivalente a 4% da massa total de copos produzidos (0,5 MJ) foi reintroduzida com sinal negativo nas fronteiras do sistema. A bibliografia consultada não apresenta dados relativos à etapa de lavagem (consumo de água e geração de efluentes).

A destinação em aterro sanitário pode ser considerada como final de vida, uma vez que a decomposição dos polímeros é da ordem de centenas de anos. O aterro sanitário para onde são destinados os resíduos urbanos coletados na cidade de Porto Alegre é localizado na cidade de Minas do Leão.

#### 5.2.1.4 TRANSPORTE

O poliestireno utilizado na produção dos copos foi produzido em uma empresa com unidade integrada na mesma localidade (vide capítulo 3.2). Para avaliar o impacto do transporte entre a matéria-prima (PS), a produção de copos e o mercado consumidor (Porto Alegre) serão consideradas as distâncias até e a partir de Criciúma. Os resíduos dos copos que não é reciclado é destinado ao Aterro Sanitário de Minas do Leão. O quadro abaixo apresenta as distâncias percorridas e o meio de transporte utilizado:

**QUADRO 3:** Dados Inventário: Distâncias percorridas avaliadas na etapa de transporte do ciclo de vida do copo plástico.

<b>Etapa</b>	<b>Origem - Destino</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>Transporte</b>	<b>Fonte</b>
Matéria Prima	Polo petroquímico (Triunfo RS) – Criciúma - SC	288 (Google Earth)	Caminhão à diesel (mix de tecnologias)	GaBi 4
Produto	Criciúma – Porto Alegre	289 (Google Earth)	Caminhão à diesel (mix de tecnologias)	GaBi 4
Resíduos	Porto Alegre – Minas do Leão	90 (Google Earth)	Caminhão à diesel (mix de tecnologias)	GaBi 4

As entradas e saídas relacionadas à etapa de transporte são do banco de dados do *software* de ACV (GaBi 4). O meio de transporte escolhido foi o caminhão, local, mix de tecnologias e seu combustível é o diesel (Euro 3 – carga 7,5 t – 12t total). A etapa de produção do diesel também foi avaliada ( Fuel production (technology mix)).

#### 5.2.2 CANECAS DE CERÂMICA

##### 5.2.2.1 MATÉRIA PRIMA

A caneca de cerâmica avaliada no estudo é feita de Faiança (ou Louça), uma vez que esse tipo de cerâmica é utilizado para produtos menos nobres e de baixo valor agregado, como as canecas utilizadas em um ambiente de trabalho. A composição mineralógica considerada da caneca foi de 25% de caulin, 25% de argila-plástica (*Ball Clay*), 20% de feldspato e 30%

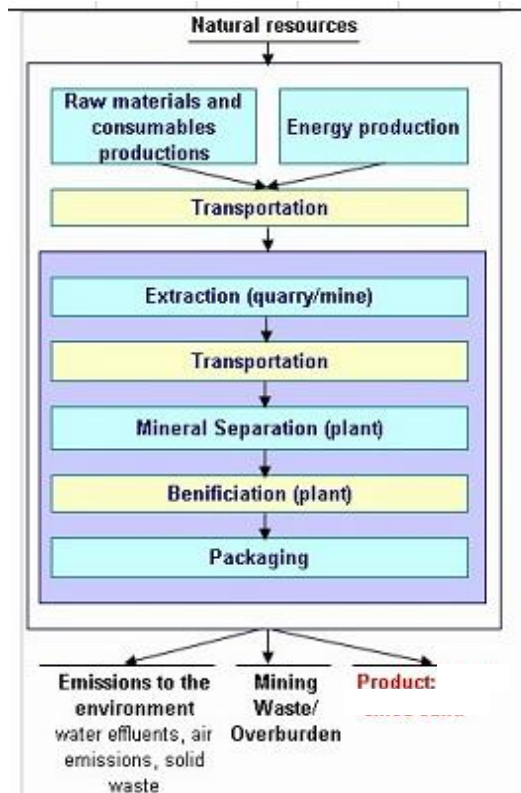
de sílica. A caneca de cerâmica é branca esmaltada sem decoração (não foram consideradas substâncias corantes no esmalte).

Os dados utilizados para caracterizar a produção das matérias-primas foram extraídos do inventário gerado pela Associação da Indústria Mineral Europeia (IMA). As informações representam a realidade média da indústria de mineração europeia.

**QUADRO 4:** Dados inventário: Produção das Matérias-primas da caneca de cerâmica.

<b>Aspecto</b>	<b>Caracterização</b>	<b>Fonte da informação</b>
Extração e produção de matéria prima: caulin ( <i>China clay</i> ), argila plástica ( <i>Ball Clay</i> ), feldspato e sílica ( <i>Silica dry sand</i> ).	Conjunto de dados relativos à média da indústria mineral europeia.	IMA - Europe (2007) Associação da Indústria Mineral Europeia
Esmalte branco	Composição do esmalte branco.	FERRARI, <i>apud</i> OLIVEIRA & MAGANHA, 2008.

A figura abaixo apresenta uma visão esquemática das etapas incluídas no inventário das matérias primas utilizadas na produção da caneca.



Fonte: IMA - Europe (2007)

**FIGURA 13:** Diagrama simplificado ilustrando a fronteira do sistema e as etapas produtivas das matérias primas utilizadas na produção da caneca.

#### 5.2.2.2 PRODUÇÃO DA CANECA DE CERÂMICA

Existe um déficit de informação a respeito do processo produtivo no segmento de Louça de Mesa, especialmente quanto a peças de faiança. Assim, uma vez que a composição mineralógica da caneca avaliada e os parâmetros de processo (especialmente temperatura) são similares as de peças de Louça Sanitária (COELHO, 2009; LIGTHART & ANSEMS, 2007) os dados utilizados no estudo para etapa de produção provém desse segmento. A quantidade de matéria prima consumida para a produção da caneca considerou a reciclagem interna de cerca de 6% dos resíduos cerâmicos, reintegrados ao processo na etapa de moagem.

O quadro abaixo apresenta os dados utilizados no estudo.e a sua origem.

**QUADRO 5:** Dados Inventário: Produção da Caneca de Cerâmica.

<b>Aspecto</b>	<b>Caracterização</b>	<b>Fonte da Informação</b>
Consumo de Gás Natural (secagem e queima das peças)	Baseado na média nacional de consumo; empresas de cerâmica de Louça Sanitária (Brasil).	COELHO, 2009
Consumo de Energia Elétrica (movimentação dos equipamentos nas plantas industriais).	Baseando na média nacional de consumo; empresas de cerâmica de Louça Sanitária (Brasil).	COELHO, 2009
Consumo de Água para processo e limpeza	Serviços de limpeza de equipamentos e piso: cerca de 90% do consumo de água. A água de processo (10% do total) é perdida por evaporação. Já a água de limpeza, cerca de 50% é reutilizada.	COELHO, 2009
Emissões atmosféricas	CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , material particulado	COELHO, 2009; EIPPCB, 2007b

### 5.2.2.3 USO E DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS

Para a etapa de uso considerou-se que a caneca de cerâmica foi lavada a mão toda a vez após ser usada para garantir que as circunstâncias higiênicas fossem comparáveis aos copos. A lavagem à mão de uma caneca é estimada consumir 0,4 litros de água a cada lavagem (LIGTHART & ANSEMS, 2007). Assumiu-se a utilização da água fria (uma vez que é a prática mais comum), apesar do fato de que a água fria é a menos recomendada do ponto de vista da higiene. Em contrapartida, no entanto, assumiu-se a lavagem também com detergente na concentração de 1,34 g/L (LIGTHART & ANSEMS, 2007). O detergente é do tipo líquido para lavagem manual.

Considerou-se que a caneca de cerâmica após seu uso foi descartada e encaminhada ao aterro sanitário para onde são destinados os demais resíduos urbanos de Porto Alegre, na cidade de Minas do Leão.

O efluente produzido pela lavagem da caneca após cada um de seus usos foi encaminhado para uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da cidade de Porto Alegre. O



processo de tratamento utilizado é de Lodos Ativados, onde ao final o efluente tratado é descartado ao ambiente. Assumiram-se os dados de funcionamento da própria ETE e seu padrão de qualidade do efluente. O lodo bruto tratado foi considerado resíduo perigoso, conforme sua caracterização.

O quadro abaixo apresenta os dados que foram coletadas para essa etapa avaliada no ciclo de vida da caneca de cerâmica.

**QUADRO 6:** Dados inventario: uso e destinação final dos resíduos.

<b>Aspecto</b>	<b>Caracterização</b>	<b>Fonte da informação</b>
Água	Lavagem da caneca após seu uso	Baseado em LIGTHART & ANSEMS, 2007
Detergente	Produto para higienização das canecas	Fluxo do software de ACV
Tratamento do efluente	Funcionamento (consumo de energia elétrica) e qualidade do efluente de uma ETE	DMAE <i>apud</i> GEWEHR,2009; SANTOS, 2008.
Efluente ETE	Caracterização do efluente descartado no ambiente	DMAE <i>apud</i> GEWEHR,2009
Lodo bruto	Lodo orgânico; resíduo perigosos .	DMAE <i>apud</i> GEWEHR,2009

#### 5.2.2.4 TRANSPORTE

Para avaliar o impacto do transporte entre a matéria-prima (massa cerâmica), a empresa produtora da caneca e o mercado consumidor (Porto Alegre) serão consideradas as seguintes distâncias e os meios de transporte:

**QUADRO 7:** Dados Inventario: Distâncias percorridas avaliadas na etapa de transporte do ciclo de vida da caneca de cerâmica.

<b>Etapa</b>	<b>Origem - Destino</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>Transporte</b>	<b>Fonte</b>
Matéria prima	Paraná – norte de Santa Catarina	107 (Google Earth)	Caminhão à diesel (mix de tecnologias)	GaBi 4
Caneca de	Norte de Santa Catarina	645	Caminhão à diesel	GaBi 4

Cerâmica	– Porto Alegre	(Google Earth)	(mix de tecnologias)	
Resíduo	Porto Alegre – Minas do Leão	90 (Google Earth)	Caminhão à diesel (mix de tecnologias)	GaBi 4

A matéria prima utilizada na produção da caneca de cerâmica provém de uma empresa no Paraná, de onde vem previamente preparada e é destinada ao norte de Santa Catarina, sendo produzida em uma empresa de grande porte.

As entradas e saídas relacionadas à etapa de transporte são do banco de dados do *software* de ACV (GaBi 4). O meio de transporte escolhido foi o caminhão, local, mix de tecnologias e seu combustível é o diesel (Euro 3 – cargo 7,5 t – 12t total). A etapa de produção do diesel também foi avaliada (Fuel production - technology mix).

### 5.3 ANÁLISE DOS IMPACTOS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Conforme exposto no capítulo 5.1.2.4, a metodologia de análise adotada para o trabalho foi a ReCiPe 2008. As categorias de impacto avaliadas foram:

- Potencial de Aquecimento Global (GWP) [kg CO<sub>2</sub> eq.]
- Potencial de Eutrofização de água doce (EP) [kg P eq.]
- Potencial de Acidificação terrestre (AP) [kg SO<sub>2</sub> eq.]
- Depleção de água (W) [m<sup>3</sup>]

Uma vez que a norma ISO não fornece uma referência para avaliação da importância e influência de cada processo sobre as categorias de impacto avaliadas para cada recipiente, nesse estudo os seguintes critérios serviram como referência (adaptado de LIGTHART & ANSEMS, 2007):

- **Contribuições maiores que 50%:** muito importantes, influencia significativa à predominante;
- **Contribuições entre 30% a 50%:** importantes, influencia média à relevante;
- **Contribuições de 15% a 30%:** relativamente importantes, pouco à relevante influencia;

- **Contribuições menores que 15%:** pouco importantes, pouca à baixa influência
- **Contribuições menores que 5%:** não importantes, baixa à influencia desprezível.

Cabe ressaltar, entretanto, que as contribuições consideradas através desse critério como pouco importantes ou até mesmo desprezíveis, podem (algumas vezes) ser igualmente tratadas e resolvidas. Sendo assim, a ACV auxilia na indicação de impactos não importantes, em uma primeira análise, mas que podem ser mitigados com um esforço mínimo. Desta forma, apesar de se tratar de impactos cuja contribuição possa ser avaliada como baixa, a ACV acaba oferecendo informações que podem auxiliar o tomador de decisão na busca da diminuição dos impactos ambientais que sua organização pode gerar.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussões relacionadas ao estudo são apresentados abaixo conforme as fases de Análise dos Impactos e Interpretação dos Resultados descritas na NBR ISO 14040: 2009. O inventário do ciclo de vida dos copos plásticos e da caneca de cerâmica são apresentados ao final do trabalho (Apêndice A e B, respectivamente).

As categorias de impacto avaliadas no estudo - Potencial de Aquecimento Global, Potencial de Eutrofização de água doce, Acidificação terrestre e Depleção de água - são representadas pelas suas siglas, respectivamente: GWP, EP, AP e W.

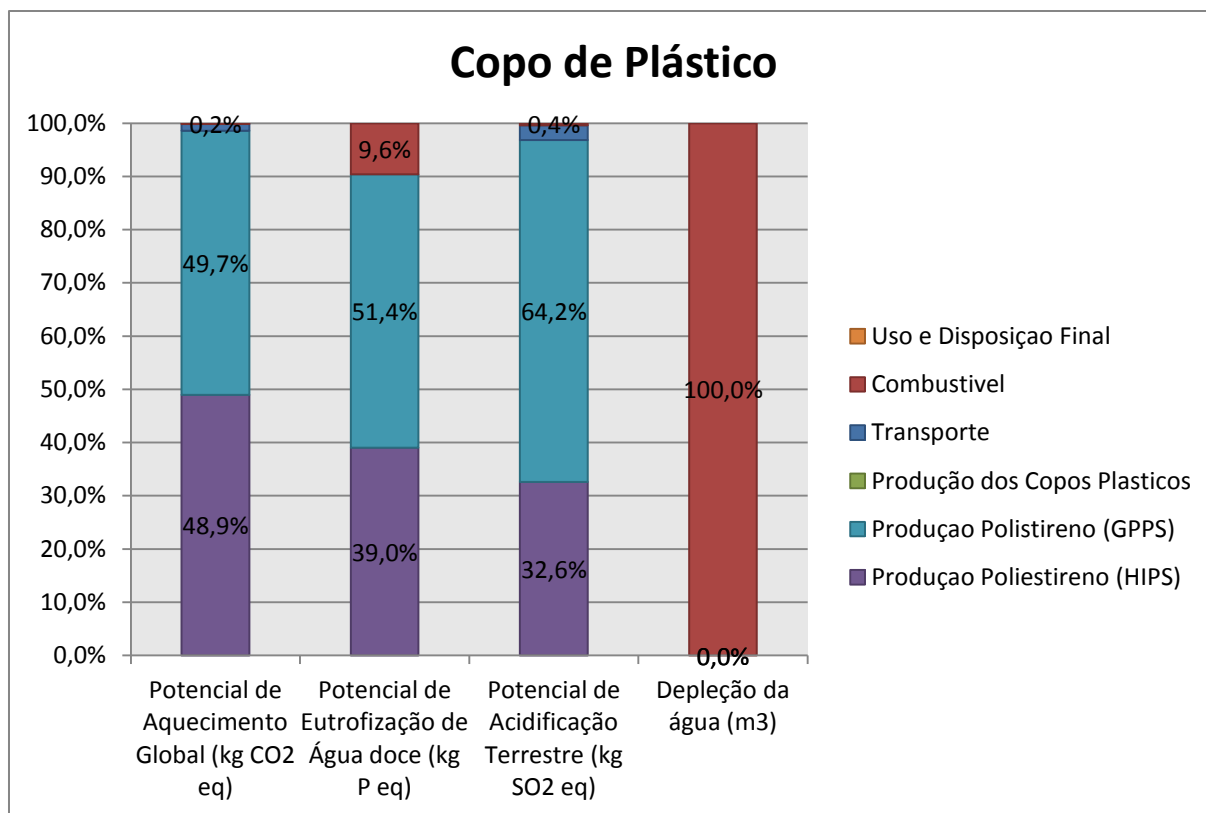
### 6.1 ANÁLISE DOS IMPACTOS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

#### 6.1.1 COPOS PLÁSTICOS (PS) DESCARTÁVEIS

O perfil ambiental obtido para os copos plásticos a partir das categorias de impacto selecionadas é representado no quadro 8 e na figura 14 abaixo. A análise das contribuições relativas de cada etapa do ciclo de vida nas categorias de impacto indica uma predominância das etapas de produção das matérias primas em todas as categorias, a exceção na categoria “Depleção de água”. A contribuição de cada uma dessas etapas varia entre 30% e 60%, conforme pode ser visto na figura 14, indicando que é a produção das matérias primas a fase mais significativa no ciclo de vida dos copos plásticos.

**QUADRO 8:** Perfil ambiental do Copo Plástico de Poliestireno (PS).

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Copo de plástico (PS)</b>
Potencial de Aquecimento Global (GWP) [kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]	1,85E+01
Potencial de Eutrofização de água doce (EP) [kg P eq]	7,61E-06
Acidificação terrestre (AP) [kg SO <sub>2</sub> eq]	4,226E-02
Depleção de água (W) [m <sup>3</sup> ]	4,231E-02



**FIGURA 14:** Contribuição relativa por processo avaliado no ciclo de vida do Copo Plástico de Poliestireno (PS).sobre cada Categoria de Impacto

A partir do perfil de contribuição de cada uma das etapas do ciclo de vida nas categorias de impacto avaliadas (Figura 14), verifica-se que a produção de GPPS possui a maior contribuição em 3 categorias, seguida da produção de HIPS. As demais etapas possuem pouca a desprezível importância nesses potenciais impactos.

As contribuições mais significativas provêm das emissões atmosféricas resultantes principalmente da queima e transformação de combustíveis fósseis para produção de energia e às emissões inerentes à produção da resina plástica final (refino, polimerização e transformação).

A etapa de produção do combustível (diesel) predomina na categoria de “Depleção de água (W)”. O volume de água requerido nos demais processos não é significativo.

A reintrodução no sistema da parcela de energia economizada a partir da reciclagem dos copos não gerou mudanças significativas, tendo em vista que a taxa de reciclagem considerada (4%) é pouco expressiva.

### 6.1.2 CANECA DE CERÂMICA

O perfil ambiental obtido para a caneca de cerâmica a partir das categorias de impacto selecionadas é representado no quadro 9 e na figura 15 abaixo. Ao contrario dos copos plásticos, a análise das contribuições relativas de cada etapa do ciclo de vida da caneca indica que a fase de produção das matérias primas é no geral pouco significativa, a exceção da categoria Acidificação Terrestre (AP), onde, no entanto, essa etapa possui influência significativa (cerca de 50%).

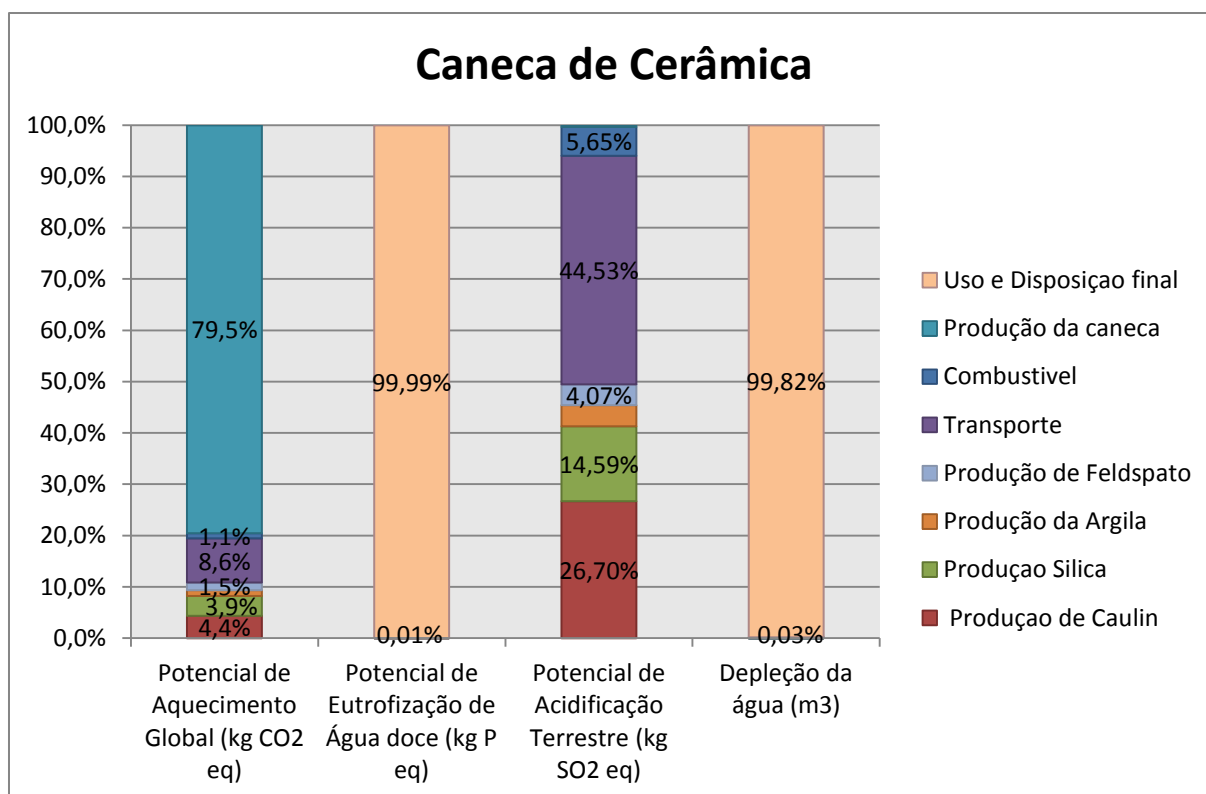
Nas categorias EP e W existe uma predominância da etapa de uso da caneca, relacionada especialmente ao processo de lavagem da caneca e tratamento do efluente. A contribuição da etapa de uso nessas categorias é superior a 99%.

Na categoria GWP é a fase de produção das canecas que é a mais significativa com uma participação de 70 %. A etapa de transporte é a etapa de maior importância na categoria AP (40% de contribuição) e a segunda maior importância em GWP devido principalmente à utilização de diesel no transporte rodoviário.

A figura 14 apresenta os resultados em relação à contribuição de cada etapa no ciclo de vida da caneca de cerâmica.

**QUADRO 9:** Perfil ambiental da Caneca de Cerâmica.

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Caneca de Cerâmica</b>
Potencial de Aquecimento Global (GWP) [kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]	2,33E-01
Potencial de Eutrofização de água doce (EP) [kg P eq]	9,90E-04
Acidificação terrestre (AP) [kg SO <sub>2</sub> eq]	2,36E-04
Depleção de água (W) [m <sup>3</sup> ]	8,01E-01



**FIGURA 15:** Contribuição relativa por processo avaliado no ciclo de vida da Caneca de Cerâmica sobre cada Categoria de Impacto

Ainda, é possível verificar que na categoria AP a produção das diferentes matérias primas tem contribuições variando de pouca a relevante influência, indicando que essas etapas não podem ser negligenciadas em um estudo de ciclo de vida. A produção do caulim e da sílica são os processos de maior relevância.

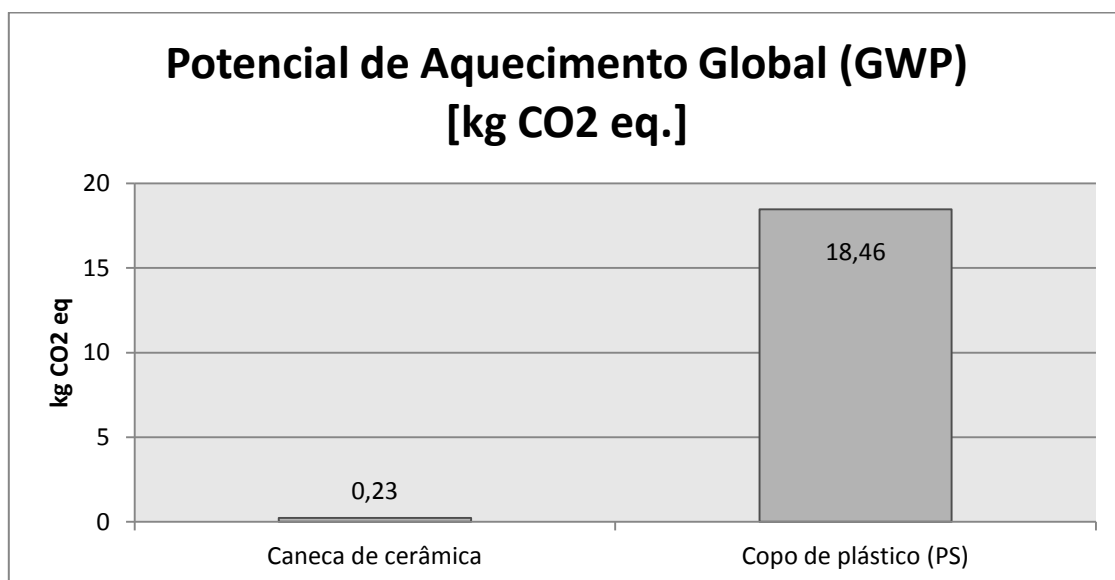
Em relação ao processo de produção da caneca de cerâmica, as contribuições mais significativas na categoria GWP provêm das emissões atmosféricas (gases de combustão) resultantes do processo de secagem e queima da caneca de cerâmica.

Para as categorias EP e W, a etapa de uso, que inclui o processo de lavagem, é a mais expressiva devido à qualidade do efluente liberado ao meio ambiente pela ETE e ao volume de água requerido para as lavagens da caneca após seu uso, respectivamente.

### 6.1.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DO CICLO DE VIDA DOS COPOS PLÁSTICOS E DA CANECA DE CERÂMICA

Comparando o perfil ambiental das canecas e dos copos plásticos verifica-se que para as categorias de impacto escolhidas não foi possível definir qual teve o melhor resultado em termos de comparação absoluta. Os copos plásticos apresentam maior impacto nas categorias GWP e AP, enquanto que a caneca apresenta o pior resultado nas categorias EP e W.

Em relação ao impacto GWP (figura 16) a caneca apresenta um resultado cerca de 80 vezes inferior ao dos copos plásticos. Conforme analisado anteriormente, nesse impacto o processo crítico para os copos é a produção das matérias primas (GPPS e HIPS) e, para as canecas, a etapa de sua produção. Em ambas as etapas ocorrem o consumo e a queima de combustíveis fósseis, que provavelmente são os responsáveis desse resultado, como mostra o inventário apresentado nos apêndices. O processo de produção de poliestireno requer o consumo de muita energia. Caso as taxas de reciclagem para o poliestireno fossem maiores esse resultado poderia ser inferior, uma vez que através da expansão de fronteiras uma boa parcela de energia elétrica requerida para o processo seria reintroduzida.

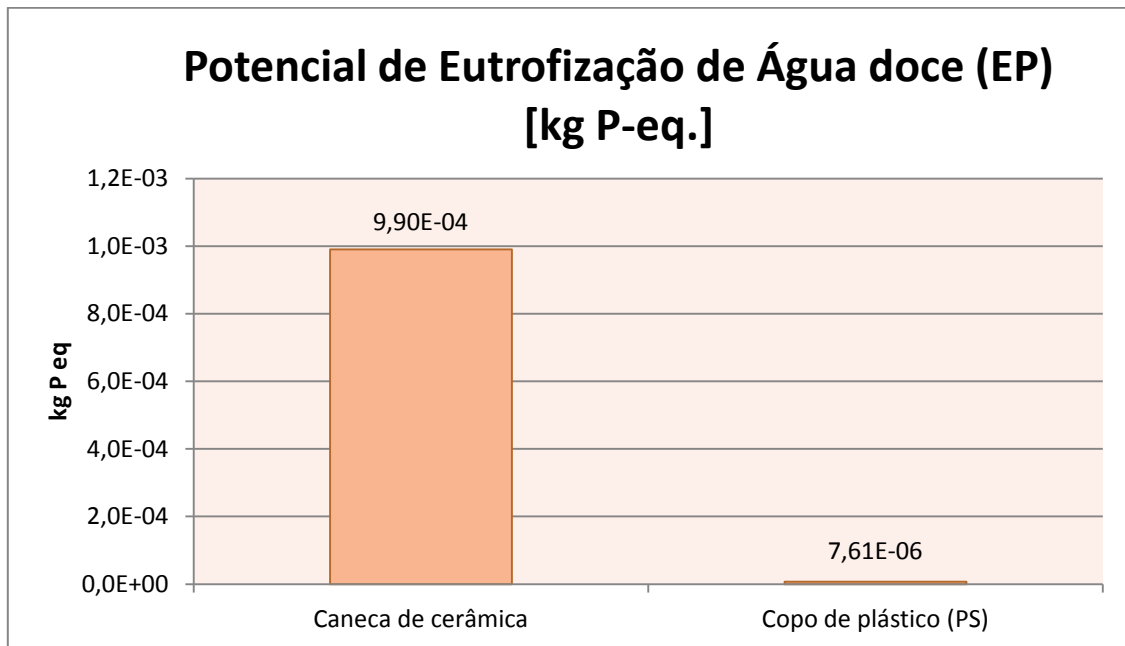


**FIGURA 16:** Comparação entre a caneca de cerâmica e os copos plásticos na categoria “Potencial de Aquecimento Global (GWP)”.

Em relação ao impacto EP (figura 17) a caneca apresenta um resultado cerca de 130 vezes superior ao dos copos plásticos. Conforme analisado anteriormente, para a caneca

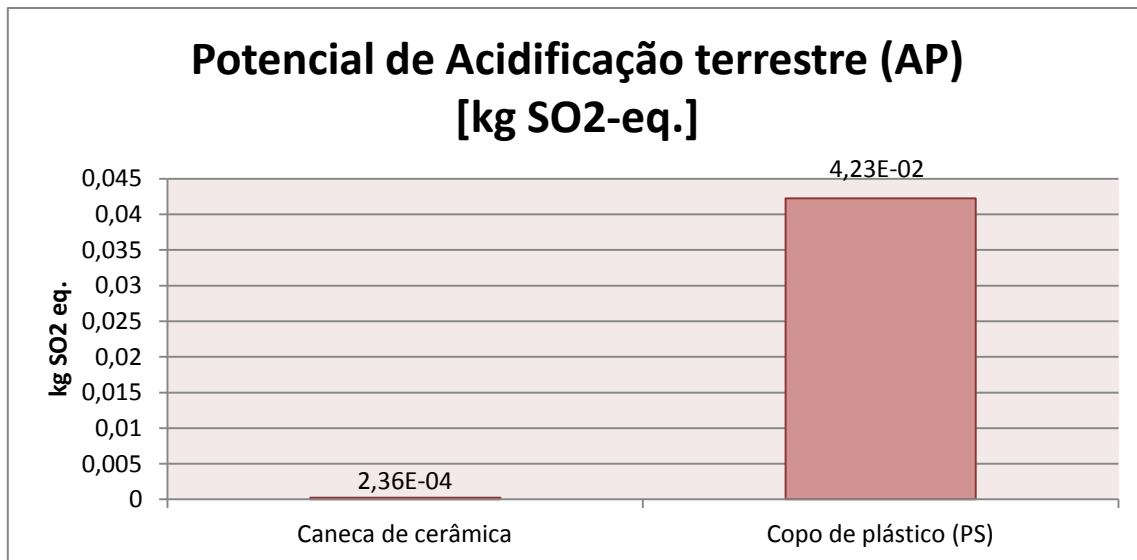


somente uma etapa exerce influência significativa para esse impacto. Para os copos plásticos, por outro lado, a influência provém tanto da produção de matérias primas quanto do combustível. A elevada carga relativa de nutrientes gerada no processo de lavagem (vinculada ao detergente) indica que esse processo e suas variáveis são muito relevantes ao ciclo de vida da caneca.



**FIGURA 17:** Comparação entre a caneca de cerâmica e os copos plásticos na categoria “Eutrofização de Água doce (EP)”.

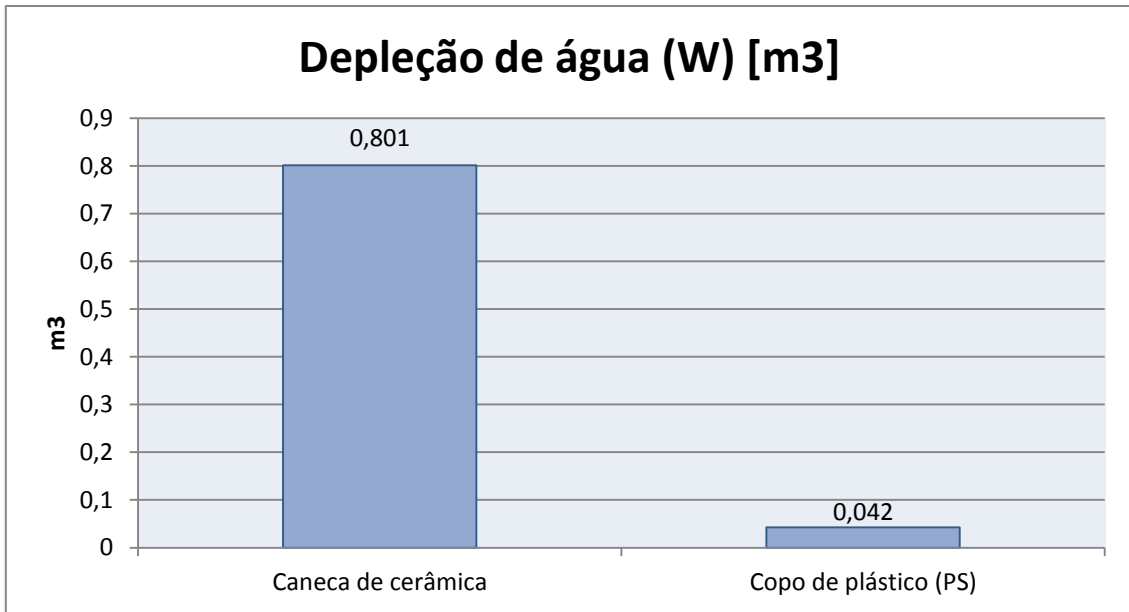
Em relação ao impacto AP (figura 18) o sistema copo plástico apresenta um resultado cerca de 180 vezes superior ao da caneca. A produção das matérias primas para os copos plásticos e o transporte para a caneca são os processos de maior contribuição nesse impacto, como foi apresentado anteriormente. As substâncias relacionadas ao fenômeno de acidificação terrestre são também especialmente vinculadas ao processo de consumo de combustíveis fósseis e de energia. Tanto na categoria GWP como na AP o copo plástico apresentou o pior resultado.



**FIGURA 18:** Comparação entre a caneca de cerâmica e os copos plásticos na categoria “Acidificação terrestre (AP)”.

Quanto ao impacto W (figura 19) a caneca de cerâmica apresenta um resultado superior ao dos copos plásticos, cerca de 20 vezes, devido especialmente à necessidade de lavagem das canecas após cada uso. Para os copos plásticos é a produção de diesel o maior contribuinte. Nesse caso, uma vez que o processo de produção de diesel representa um mix de tecnologias, esse volume de água requerido pode ser tanto para a extração do óleo bruto, para o resfriamento dos equipamentos e outros usos.

A expansão das fronteiras do sistema quanto à reutilização da água da lavagem para outros fins poderia ter um efeito positivo sobre essa categoria para as canecas, reduzindo seu impacto ambiental.



**FIGURA 19:** Comparação entre a caneca de cerâmica e os copos plásticos na categoria “Depleção de água (W)”.

## 7 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da metodologia de Análise do Ciclo de Vida (ACV) foi possível analisar o ciclo de vida de copos plásticos de poliestireno (PS) e de canecas de cerâmica baseados em uma mesma unidade funcional. O perfil ambiental obtido para os recipientes permitiu a sua comparação e o desenvolvimento de uma forma de avaliação dessas alternativas.

Quanto aos copos plásticos (PS), concluiu-se que a etapa de maior impacto no seu ciclo de vida é a produção das matérias primas. A etapa de produção de matéria prima é a maior contribuinte em três das quatro categorias de impacto, variando sua influência entre 70 a 98%. Esse resultado é vinculado especialmente à forte dependência desse processo ao consumo de combustíveis fósseis de onde provém a sua matéria prima base.

Em relação às canecas de cerâmica, por outro lado, é a etapa de uso, especialmente o processo de lavagem, que provoca o maior impacto em seu ciclo de vida. A contribuição dessa etapa nas categorias de impacto EP e W é de mais de 99%. O mau desempenho nessas categorias relaciona-se ao processo de lavagem da caneca. Esse processo consome um elevado volume de água, gerando ao final um efluente de carga orgânica significativa.

Para as categorias de impacto escolhidas não foi possível definir qual recipiente apresenta o melhor resultado em termos de comparação absoluta. Os copos de poliestireno tiveram melhores resultados nas categorias potencial eutrofização de água doce (EP) e depleção de água (W), enquanto a caneca nas categorias de aquecimento global (GWP) e acidificação terrestre (AP).

No entanto, mesmo não sendo possível definir uma melhor alternativa a partir desse critério, conclui-se que tanto os copos plásticos quanto as canecas de cerâmica possuem aspectos ambientais positivos e negativos que podem ser mais bem explorados auxiliando os tomadores de decisão na escolha do recipiente para servir café.

A partir da análise de contribuição das etapas sobre as categorias de impacto e da identificação dos aspectos que mais influenciaram os resultados negativos para os copos plásticos e para as canecas, conclui-se que duas medidas são fundamentais para a redução dos seus impactos: o aumento na taxa de reciclagem do poliestireno e a reutilização da água de lavagem para outros fins menos nobres, respectivamente. Essas ações minimizariam os efeitos

de aspectos ambientais relevantes na etapa de produção de matéria prima para os copos e de lavagem para a caneca.

Assim, quando da escolha pela utilização dos copos plásticos para o consumo de café, pode se indicar aos tomadores de decisão da empresa o estímulo à pratica da coleta seletiva e a destinação dos resíduos a locais onde sua reciclagem seja mais expressiva do que 4%. Através de uma reciclagem próxima a 100% seria possível minimizar o consumo de energia para a produção de novos copos, resultando na redução dos impactos na categoria de GWP e AP. No entanto, por outro lado, possivelmente os resultados nas categorias EP e W aumentariam consideravelmente, tendo em vista o elevado consumo de água para a lavagem dos copos antes de sua reciclagem.

Se a escolha dos recipientes para servir café for caneca de cerâmica, aos tomadores de decisão da empresa pode se indicar que seja estabelecido um meio de reutilização da água de lavagem, seja para a limpeza geral, lavagem de calçadas e molhar as plantas. Uma vez que a água seria insumo a outro processo, através da expansão das fronteiras, o impacto de depleção de água e de eutrofização poderia ser reduzido significativamente.

Recomenda-se que para futuros trabalhos seja avaliada a completeza, a sensibilidade e a consistência dos dados do inventário a fim de refinar as conclusões desse trabalho. Informações de grande relevância para o ciclo de vida dos recipientes, como a quantidade de usos da caneca até seu descarte, a quantidade de água necessária para a lavagem da caneca, a taxa de reciclagem para os copos de poliestireno, entre outros, poderiam ser reavaliados com outros valores possíveis e, de preferência, baseados em realidades nacionais. Sugere-se ainda que sejam verificados diferentes cenários quanto ao nível de tratamento do efluente da lavagem e à disposição dos resíduos gerados no ciclo de vida dos copos e da caneca (incluindo outras variáveis na reciclagem dos copos plásticos) trazendo-os também para a realidade de Porto Alegre. Ainda, pode-se aplicar uma pontuação única (onde os impactos são padronizados sob um mesmo critério) ou a normalização a fim de tirar conclusões mais afinadas, encontrando uma melhor opção.

Quanto à metodologia de avaliação, como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se que sejam verificados os fatores de caracterização das substâncias utilizados na metodologia de análise do estudo, identificando aquelas de maior relevância e contribuindo para a definição de outras soluções para as melhorias dos processos e minimização dos impactos.



## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, R. A. F de. **Avaliação de Métodos de AICV: Um Estudo de Caso de Quatro Cenários de Ração para Frangos de Corte**. 158p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040:2009: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ – ABIC. **Indicadores da indústria de café no Brasil – 2012**. Disponível em: <http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=61#1910>. Acesso em: 16 de setembro de 2012.

BARROS, A. C. ET al. **Copos em Plástico e Vidro: Comparação de impactos ambientais a partir da Análise do Ciclo de Vida**. VII Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção, Viçosa, 2011.

BROCA, M.. **A comparative analysis of the environmental impacts of ceramic plates and biodegradable plates (made of corn starch) using the Life Cycle Assessment tool**. Dissertação (Mestrado em Estudos Ambientais) – TERI University, Índia, 2008.

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. São Paulo, Humanitas Editora/FFLCH/USP, 1997.

COELHO, J. M. **Cadeia de Louças: Relatório Técnico 74: Perfil de Louças Sanitárias e de Mesa**. Ministério de Minas e Energia – MME, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. 2009.

DERRICK, S. **Polystyrene Recycling**. Green Manufacturing Initiative – Western Michigan University. Michigan, 2010.

ECODHOME Arquitetura e Consultoria. **Plástico bom x plástico ruim**. Disponível em: [http://www.ecodhome.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=78:plastico-bom-x-plastico-ruim&catid=43:materiais-ambientalmente-saudaveis&Itemid=84](http://www.ecodhome.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=78:plastico-bom-x-plastico-ruim&catid=43:materiais-ambientalmente-saudaveis&Itemid=84). Acesso em 20 de setembro de 2012.

ESPINDOLA, L. C. **Reciclagem de plásticos pós-consumo misturados não reaproveitados pelos centros de triagem de porto alegre.** 139p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química: Polímeros) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

EIPPCB – European Integrated Pollution Prevention and Control. **Reference Document on Best Available Techniques in the production of Polymers.** 2007a.

EIPPCB – European Integrated Pollution Prevention and Control. **Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry.** 2007b.

FERREIRA, J. V. R. **Gestão Ambiental: Análise de ciclo de vida dos produtos.** Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

GEWEHR, A. G. **Ecoeficiência de estações de tratamento de esgoto: índice de lodo.** 2009. 72f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HISCHIER R. **Part II: Plastics.** Lify cycle inventory Database “Ecoinvent 2000” – BUWAL/BFE/ASTRA/BLW. 2007.

IARC - INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Volume 60: Some Industrial Chemicals.** IARC, 1999.

IMA Europe LCA Project. **LCI Plastic Clay; LCI Crude blended feldspar; LCI Dry silica sand; LCI Coarse kaolin.** 2007. Disponível em: [www.ima-europe.eu](http://www.ima-europe.eu). Acesso em: 10 de outubro de 2012.

LEAO, A. R. **Termoformagem: Estudo de conformação de chapas termoplásticas por vácuo com auxílio de contramolde.** 2009. Monografia do Curso de Tecnologia em Produção de Plásticos. FATEC, São Paulo, 2009.

MONTENEGRO, R.S.P; SERFATY, M.E. **Aspectos gerais do poliestireno.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 16, p. 12-136, 2002.

OLIVEIRA, M. C.; MAGANHA, M. F. B. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas branca e de revestimento.** 84p. – Serie P + L. São Paulo: CETESB, 2008.



RIBEIRO, F. M. **Inventário de ciclo de vida da geração hidrelétrica no Brasil – Usina de Itaipu: primeira aproximação.** 2003. 2v. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

RUIZ, M. S. ET al. A Indústria de Louça e Porcelana de Mesa no Brasil. **Cerâmica Industrial.** 16 (2). Março/Abril, 2011.

SILVA, C. C. da; SILVA, J. C. da. **Dossiê Técnico: Louças e porcelanas de uso doméstico.** Instituto de Tecnologia do Paraná. SBRT – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2007.

SPINACE, M. A. da S.; DE PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, Vol. 28, No1, 65-72. 2005.

VALT, Renata B. G. **Análise do Ciclo de Vida de embalagens de PET, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais.** 2004.

MONTENEGRO, R. P.; SERFATY, M. E. 2002. **Aspectos Gerais do Poliestireno.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 16, p. 123-136, set. 2002

Projeto de substituição de matéria-prima de copos descartáveis é modelo de negócios e ganha Prêmios Finep e Abiquim 2005. **Inovação UNICAMP, 2006.** Disponível em: <http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-2braskem060220.shtml>. Acesso em: 01 de outubro de 2012.

Ideasbynet reveals that the average mug is used over 200 times. **PRNewswire.** Inglaterra, 2011. Disponível em: <http://www.euroinvestor.fr/actualites/2011/01/21/ideasbynet-reveals-that-the-average-mug-is-used-over-2000-times/11548744>. Acesso em: 20 de setembro de 2012.

PIEKARSKI, C. M. et AL. **Métodos de Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida: uma discussão para adoção de métodos nas especificidades brasileiras.** Revista Gestão Industrial, Paraná, v. 08, n. 03: p. 222-240, 2012.

GOEDKOOPE M.; HEIJUNGS R.; DE SCHRYVER A.; STRUIJS J.; VAN ZELM R. **ReCiPe 2008:** A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level / First Edition (revised) /Report I: Characterization. Holanda: Ministerie van VROM, 2012.

PEREIRA, M.C.S, AQUINO, F. M.. **Indústria de copos plásticos descartáveis: breve panorama da situação atual e das perspectivas do segmento, com ênfase em Santa Catarina.** Florianópolis. BRDE, 2006.

Instituto Socioambiental dos Plásticos – PLASTIVIDA. **Monitoramento dos índices de reciclagem mecânica de plásticos no Brasil (IRmP).** 2010.

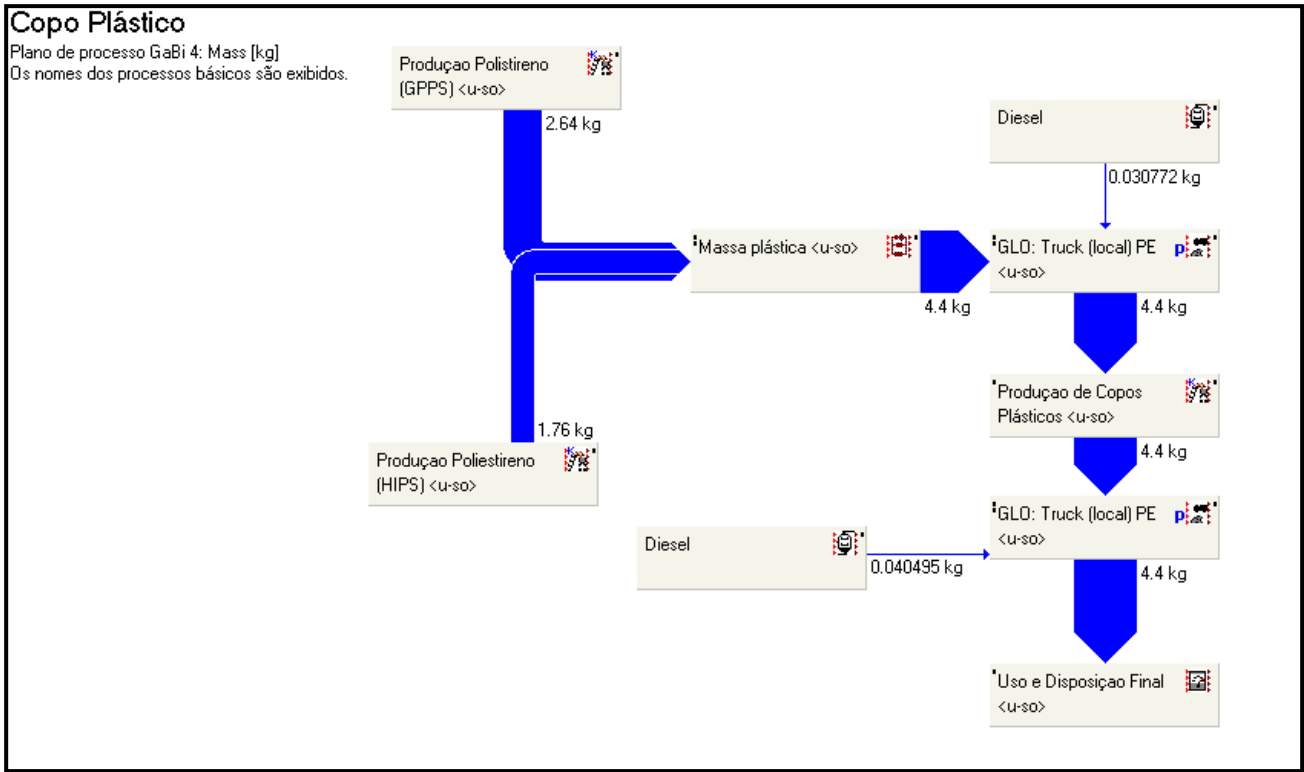
Instituto Socioambiental dos Plásticos – PLASTIVIDA. **Reciclagem: Reciclagem Mecânica.** 2012.

**Revista Plástico Moderno.** Setor vendeu mais e modernizou linhas. Edição n° 326. Novembro de 2001. Disponível em: <http://www.plastico.com.br/reportagem.php?rrid=648>. Acesso em: 5 de outubro de 2012.

LIGTHART T.N ; ANSEMS, A. M. M. **Single use cups or reusable (coffe) drinking systems: an environmental comparison.** TNO – Netherlands Organization for Applied scientific Research, 2007.

# APÊNDICE A

## Inventário do Ciclo de Vida - Copos plásticos



### Etapa: Produção dos Copos Plásticos

Nome local: Produção de Copos Plásticos <u-so> Nenhuma imagem Cancelar OK

Configurações locais ACC

Fator de escala: 1  Fixado Alocação: [nenhuma alocação]

Parâmetros livres +

Parâmetros fixos +

Entradas						Saídas					
Alias	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxos rastread	Alias	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo
Poliestireno (PS) [Plastics]	Mass	4.4	kg	X		Copo plástico (PS) [Plastics]	Mass	4.4	kg	X	
Power (from hydropower) [System-dependent]	Energy (net calorific value)	14.3	MJ								

## Etapa: Transporte matéria prima (PS)

Nome local: GLO: Truck (local) PE <u-so> Nenhuma imagem

Configurações locais ACC

Fator de escala: 4.4  Fixado

Alocação: (nenhuma alocação)

**Parâmetros livres**

Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Coment.
Anteil_AB		0			0 %	[-] Perc
Anteil_AO		0.5			0 %	[-] Perc
Anteil_CO2_bio		0.05			0 %	[-] share
Anteil_IO		0.5			0 %	[-] Perc
Auslast		0.85			0 %	[-] Load
Distanz		288			0 %	[km] Dist

**Parâmetros fixos**

Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Coment.

**Entradas**

Alias	Fluxo	Quantidade	Unidade	Fluxos rastread.
Spez_Diesel_ges	Diesel [Crude oil products]	0.030772	kg	X
	Poliestireno (PS) [Plastics]	4.4	kg	X

**Saídas**

Alias	Fluxo	Quantidade	Unidade	Fluxo
Spez_NH3	Ammonia [Inorganic emissions to air]	6.5387E-007	kg	
Spez_Benzol_ges	Benzene [Group NMVOC to air]	9.0353E-007	kg	
Spez_CO2_fos	Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	0.092816	kg	
Spez_CO2_bio	Carbon dioxide (biotic) [Inorganic emissions to air]	0.0048851	kg	
Spez_CO_ges	Carbon monoxide [Inorganic emissions to air]	0.0002357	kg	
Spez_Part_ges	Dust (PM2.5) [Particles to air]	2.5827E-005	kg	
Spez_CH4_ges	Methane [Organic emissions to air (group VOC)]	1.2985E-006	kg	
Spez_NOx_ges	Nitrogen oxides [Inorganic emissions to air]	0.00090933	kg	
Spez_N2O_ges	Nitrous oxide (laughing gas) [Inorganic emissions to air]	1.0593E-006	kg	
Spez_NMVOC_ges	NMVOC (unspecified) [Group NMVOC to air]	5.1296E-005	kg	
	Poliestireno (PS) [Plastics]	4.4	kg	X
Spez_SO2_ges	Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air]	3.0772E-006	kg	
Spez_Toluol_ges	Toluene (methyl benzene) [Group NMVOC to air]	1.5912E-007	kg	
Spez_Xylol_ges	Xylene (dimethyl benzene) [Group NMVOC to air]	4.3283E-007	kg	

## Etapa: Transporte produção (copos plásticos)

Nome local: GLO: Truck (local) PE <u-so> Nenhuma imagem

Configurações locais ACC

Fator de escala: 4.4  Fixado

Alocação: (nenhuma alocação)

**Parâmetros livres**

Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Coment.
Anteil_AB		0			0 %	[-] Perc
Anteil_AO		0.5			0 %	[-] Perc
Anteil_CO2_bio		0.05			0 %	[-] share
Anteil_IO		0.5			0 %	[-] Perc
Auslast		0.85			0 %	[-] Load
Distanz		379			0 %	[km] Dist

**Parâmetros fixos**

Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Coment.

**Entradas**

Alias	Fluxo	Quantidade	Unidade	Fluxos rastread.
	Copo plástico (PS) [Plastics]	4.4	kg	X
Spez_Diesel_ges	Diesel [Crude oil products]	0.040495	kg	X

**Saídas**

Alias	Fluxo	Quantidade	Unidade	Fluxo
Spez_NH3	Ammonia [Inorganic emissions to air]	8.6047E-007	kg	
Spez_Benzol_ges	Benzene [Group NMVOC to air]	1.189E-006	kg	
Spez_CO2_fos	Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	0.12214	kg	
Spez_CO2_bio	Carbon dioxide (biotic) [Inorganic emissions to air]	0.0064286	kg	
Spez_CO_ges	Carbon monoxide [Inorganic emissions to air]	0.00031018	kg	
	Copo plástico (PS) [Plastics]	4.4	kg	X
Spez_Part_ges	Dust (PM2.5) [Particles to air]	3.3987E-005	kg	
Spez_CH4_ges	Methane [Organic emissions to air (group VOC)]	1.7088E-006	kg	
Spez_NOx_ges	Nitrogen oxides [Inorganic emissions to air]	0.0011966	kg	
Spez_N2O_ges	Nitrous oxide (laughing gas) [Inorganic emissions to air]	1.394E-006	kg	
Spez_NMVOC_ges	NMVOC (unspecified) [Group NMVOC to air]	6.7504E-005	kg	
Spez_SO2_ges	Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air]	4.0495E-006	kg	
Spez_Toluol_ges	Toluene (methyl benzene) [Group NMVOC to air]	2.094E-007	kg	
Spez_Xylol_ges	Xylene (dimethyl benzene) [Group NMVOC to air]	5.6959E-007	kg	

## Etapa: Uso e Destinação Final

Nome local: Uso e Disposição Final <u-so> Nenhuma imagem

Configurações locais ACC

Fator de escala: 1  Fixado

Alocação: (nenhuma alocação)

**Parâmetros livres**

Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Coment.

**Parâmetros fixos**

Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Coment.

**Entradas**

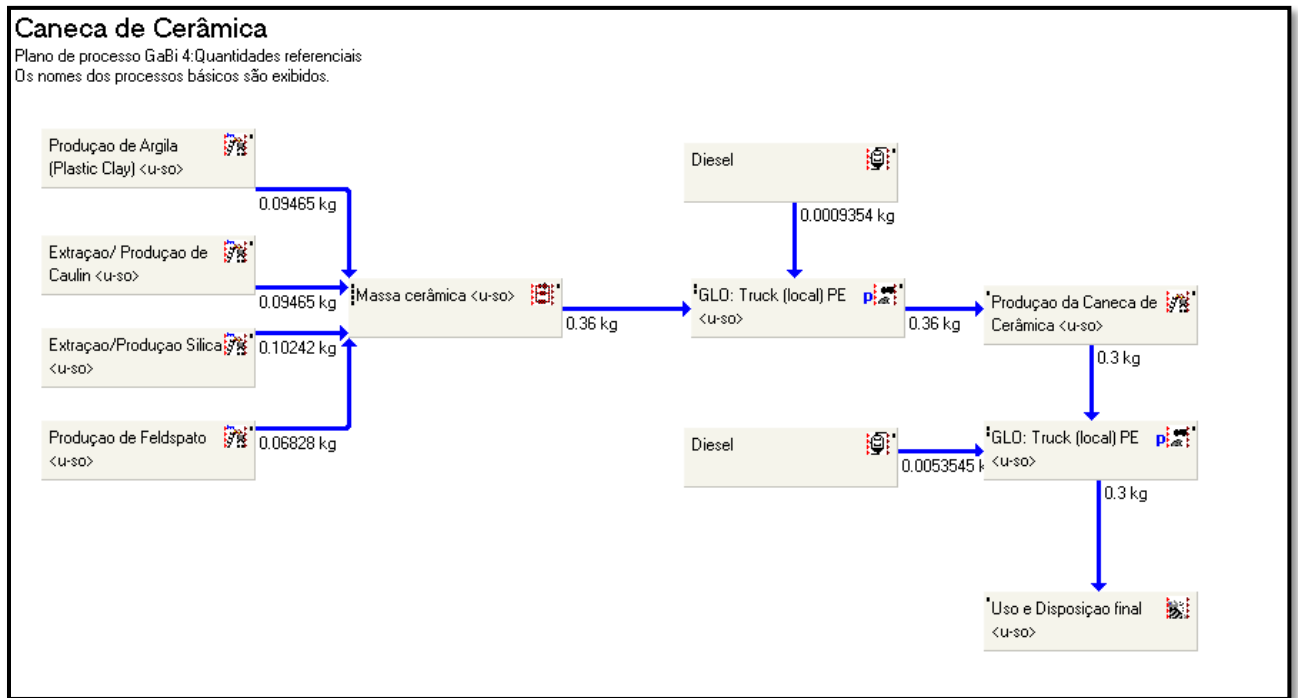
Alias	Fluxo	Quantidade	Unidade	Fluxos rastread.
	Copo plástico (PS) [Plastics]	4.4	kg	X

**Saídas**

Alias	Fluxo	Quantidade	Unidade	Fluxo
	Plastic (unspecified) [Waste for recovery]	0.176	kg	
	Waste (unspecified) [Consumer waste]	4.224	kg	

# APÊNDICE B

## B.1 Inventário do Ciclo de Vida – Caneca de Cerâmica



### Etapa: Produção da Caneca de Cerâmica

Nome local: Produção da Caneca de Cerâmica <u-so> Nenhuma imagem

Configurações locais ACC

Fator de escala: 1 Fixado Alocação: (nenhuma alocação)

Parâmetros livres

Parâmetros fixos

Entradas					Saídas						
Alias	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxos restread	Alias	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo
	Aluminum oxide (alumina) [Inorganic intermediate products]	Mass	0.0021769	kg			Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0.1854	kg	
	Energy, potential (in hydropower reservoir, converted [Ren]Energy ren. (net calorific va	MJ	0.702				Carbon monoxide [Inorganic emissions to air]	Mass	4.16E-006	kg	
	Iron oxide [Heavy metals to air]	Mass	6.0376E-005	kg			Dust (unspecified) [Particles to air]	Mass	2.08E-007	kg	
	K2O (potash) [Non renewable resources]	Mass	0.00047295	kg			Gypsum [Waste for recovery]	Mass	0.0195	kg	
	Lime quiclime (lumpy) [Minerals]	Mass	0.0019346	kg			HCl in slag and ashes [Hazardous waste]	Mass	2.08E-007	kg	
	Magnesium oxide [Inorganic intermediate products]	Mass	0.0001761	kg			HF in slag and ashes [Hazardous waste]	Mass	1.04E-007	kg	
	Massa cerâmica [Non renewable resources]	Mass	0.36	kg	X		Mug [Operating materials]	Mass	0.3	kg	X
	Natural gas Brazil [Natural gas (resource)]	Mass	0.086645	kg			Nitrogen dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	6.24E-007	kg	
	Phosphate (P2O5) [Non renewable resources]	Mass	0.0001761	kg			Sludge (unspecified) [Waste for recovery]	Mass	0.084	kg	
	Quartz sand (silica sand; silicon dioxide) [Non renewable res	Mass	0.013887	kg			Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	4.16E-007	kg	
	Soda (sodium carbonate) [Inorganic intermediate products]	Mass	0.00062892	kg			Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	0.54	kg	
	Strontium oxide [Non renewable resources]	Mass	3.7735E-006	kg							
	Water (river water) [Water]	Mass	0.96	kg							
	Zinc oxide [Inorganic intermediate products]	Mass	0.0010365	kg							
	Zirconium oxide [Inorganic intermediate products]	Mass	0.0027672	kg							

## Etapa: Transporte matéria prima (massa cerâmica)

Nome local: GLO: Truck (local) PE <u-so> Nenhuma imagem Cancelar OK

Configurações locais ACC

Fator de escala: 0.36  Fixado Alocação: [nenhuma alocação]

**Parâmetros livres**

Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Coment
Anteil_AB		0			0 %	[-] Perce
Anteil_AO		0.5			0 %	[-] Perce
Anteil_CO2_bio		0.05			0 %	[-] share
Anteil_IO		0.5			0 %	[-] Perce
Auslast		0.85			0 %	[-] Load
Distanz		107			0 %	[km] Dist

**Parâmetros fixos**

Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Coment

**Entradas**

Alias	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxos rastread
Spez_Diesel_ges	Diesel [Crude oil products]	Mass	0.0009354	kg	X
Massa cerâmica	[Non renewable resources]	Mass	0.36	kg	X

**Saídas**

Alias	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo
Spez_NH3	Ammonia [Inorganic emissions to air]	Mass	1.9876E-008	kg	
Spez_Benzol_ges	Benzene [Group NMVOC to air]	Mass	2.7465E-008	kg	
Spez_CO2_fos	Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0.0028214	kg	
Spez_CO2_bio	Carbon dioxide (biotic) [Inorganic emissions to air]	Mass	0.00014849	kg	
Spez_CO_ges	Carbon monoxide [Inorganic emissions to air]	Mass	7.1648E-006	kg	
Spez_Part_ges	Dust (PM2.5) [Particles to air]	Mass	7.8508E-007	kg	
Massa cerâmica	[Non renewable resources]	Mass	0.36	kg	X
Spez_CH4_ges	Methane [Organic emissions to air (group VOC)]	Mass	3.9471E-008	kg	
Spez_NOx_ges	Nitrogen oxides [Inorganic emissions to air]	Mass	2.7641E-005	kg	
Spez_N2O_ges	Nitrous oxide (laughing gas) [Inorganic emissions to air]	Mass	3.2199E-008	kg	
Spez_NMVOC_ges	NMVOC (unspecified) [Group NMVOC to air]	Mass	1.5593E-006	kg	
Spez_SO2_ges	Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	9.354E-008	kg	
Spez_Toluol_ges	Toluene (methyl benzene) [Group NMVOC to air]	Mass	4.8368E-009	kg	
Spez_XyloI_ges	Xylene (dimethyl benzene) [Group NMVOC to air]	Mass	1.3157E-008	kg	

## Etapa: Transporte produção (caneca de cerâmica) e destinação final

Nome local: GLO: Truck (local) PE <u-so> Nenhuma imagem Cancelar OK

Configurações locais ACC

Fator de escala: 0.3  Fixado Alocação: [nenhuma alocação]

**Parâmetros livres**

Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Coment
Anteil_AB		0			0 %	[-] Perce
Anteil_AO		0.5			0 %	[-] Perce
Anteil_CO2_bio		0.05			0 %	[-] share
Anteil_IO		0.5			0 %	[-] Perce
Auslast		0.85			0 %	[-] Load
Distanz		735			0 %	[km] Dist

**Parâmetros fixos**

Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Coment

**Entradas**

Alias	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxos rastread
Spez_Diesel_ges	Diesel [Crude oil products]	Mass	0.0053545	kg	X
Mug	[Operating materials]	Mass	0.3	kg	X

**Saídas**

Alias	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo
Spez_NH3	Ammonia [Inorganic emissions to air]	Mass	1.1378E-007	kg	
Spez_Benzol_ges	Benzene [Group NMVOC to air]	Mass	1.5722E-007	kg	
Spez_CO2_fos	Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0.016151	kg	
Spez_CO2_bio	Carbon dioxide (biotic) [Inorganic emissions to air]	Mass	0.00085003	kg	
Spez_CO_ges	Carbon monoxide [Inorganic emissions to air]	Mass	4.1013E-005	kg	
Spez_Part_ges	Dust (PM2.5) [Particles to air]	Mass	4.494E-006	kg	
Spez_CH4_ges	Methane [Organic emissions to air (group VOC)]	Mass	2.2594E-007	kg	
Mug	[Operating materials]	Mass	0.3	kg	X
Spez_NOx_ges	Nitrogen oxides [Inorganic emissions to air]	Mass	0.00015823	kg	
Spez_N2O_ges	Nitrous oxide (laughing gas) [Inorganic emissions to air]	Mass	1.8432E-007	kg	
Spez_NMVOC_ges	NMVOC (unspecified) [Group NMVOC to air]	Mass	8.9257E-006	kg	
Spez_SO2_ges	Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	5.3545E-007	kg	
Spez_Toluol_ges	Toluene (methyl benzene) [Group NMVOC to air]	Mass	2.7888E-008	kg	
Spez_XyloI_ges	Xylene (dimethyl benzene) [Group NMVOC to air]	Mass	7.5315E-008	kg	

## Etapa: Uso e Disposição Final dos Resíduos

Nome local: Uso e Disposição final <u-so> Nenhuma imagem Cancelar OK

Configurações locais ACC

Fator de escala: 1  Fixado Alocação: [nenhuma alocação]

**Parâmetros livres**

Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Coment

**Parâmetros fixos**

Parâmetro	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desvio	Coment

**Entradas**

Alias	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxos rastread
Mug	[Operating materials]	Mass	0.3	kg	X
Power	[Electric power]	Energy (net calorific value)	0.66	MJ	
Detergent	[Operating materials]	Mass	1.07	kg	
Water	[Water]	Mass	800	kg	

**Saídas**

Alias	Fluxo	Quantidade	Quantia	Unidade	Fluxo
	Biological oxygen demand (BOD) [Analytical measures to f	Mass	0.033	kg	
	Chemical oxygen demand (COD) [Analytical measures to f	Mass	0.108	kg	
	Nitrogenous Matter (unspecified, as N) [Analytical measur	Mass	0.002	kg	
	Phosphate [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0.003	kg	
	Sludge [Hazardous waste]	Mass	0.924	kg	
	Waste in landfill (inert material, sanitary and residual mat	Mass	0.3	kg	
	Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	800	kg	