

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA BRITA PARA A
CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO**

EFIGÊNIA ROSSI

São Carlos
2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA BRITA PARA A
CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO**

EFIGÊNIA ROSSI

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Almir Sales

São Carlos
2013

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

R831ac

Rossi, Efigênia.

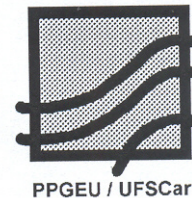
Avaliação do ciclo de vida da brita para a construção civil :
estudo de caso / Efigênia Rossi. -- São Carlos : UFSCar,
2013.

131 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São
Carlos, 2013.

1. Construção civil. 2. Avaliação do ciclo de vida dos
produtos. 3. Brita. 4. Impacto ambiental. I. Título.

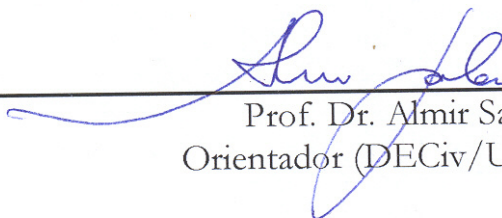
CDD: 690 (20^a)



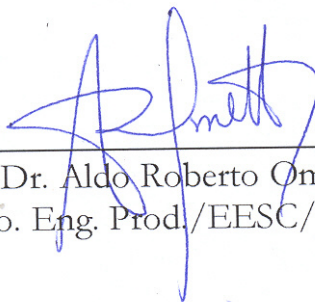
FOLHA DE APROVAÇÃO

EFIGÊNIA ROSSI

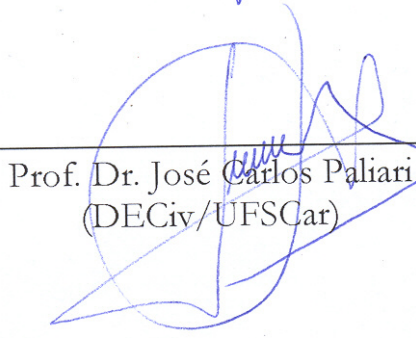
Dissertação defendida e aprovada em 09/08/2013
pela Comissão Julgadora



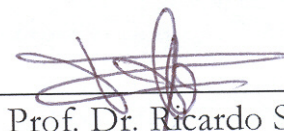
Prof. Dr. Almir Sales
Orientador (DECiv/UFSCar)



Prof. Dr. Aldo Roberto Ometto
(Depto. Eng. Prod./EESC/USP)



Prof. Dr. José Carlos Paliari
(DECiv/UFSCar)



Prof. Dr. Ricardo Siloto da Silva
Coordenador do CPG-EU

*Aos meus pais,
eternos professores.*

Agradecimentos

A Deus, por ser o artífice que trabalha no silêncio e nos precede em todos os momentos e ocasiões.

Aos meus pais, por me apoiarem e acompanharem meus dias de luta, fracassos e vitórias.

À Isadora, minha irmã e melhor amiga, por ser a companheira fiel de meus passos.

Ao meu namorado Salomão, pelo incentivo e amor constantes em minha vida.

À minha comunidade, por ser apoio, compreensão e caridade.

Aos meus padrinhos e toda a minha família.

A todos os meus amigos, especialmente à Julia, à Michelly e ao Fernando Silva por me ajudarem acadêmica e pessoalmente.

Ao meu orientador Prof. Dr. Almir Sales, pela dedicação, incentivo e disposição na orientação deste trabalho e pela amizade e confiança construídos durante esses anos.

Aos colegas de laboratório, em especial, Juliana e Fernando Almeida, por sempre estarem dispostos a me auxiliarem.

Ao CNPq/CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

À Universidade Federal de São Carlos e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana.

À Secretaria do PPGEU, em especial Antônio Carlos e Tiago, pelo suporte acadêmico.

Aos colegas do PPGEU, pela amizade e conhecimentos compartilhados.

Aos professores do PPGEU pelos ensinamentos passados ao longo desses anos, que me acompanharão por toda a vida.

Ao Prof. Dr. Aldo Roberto Ometto por permitir a realização de sua disciplina na EESC/USP, possibilitando um auxílio incontável para a realização desse trabalho.

Aos funcionários da mineradora estudada, Gláucia, Bruno, Alain e Ronaldo, por incentivarem a pesquisa, permitindo a realização da visita técnica e a disponibilização dos dados necessários.

A todos sem os quais seria impossível a realização dessa dissertação.

“Por esse tempo, pôs-se Jesus a dizer: Eu te louvo, ó Pai, Senhor do céu e da terra, porque ocultaste estas coisas dos sábios e doutores e as revelaste aos pequeninos. Sim, Pai, porque assim foi do teu agrado.”

(Mateus 11, 25-26)

RESUMO

A construção civil é uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, entretanto comporta-se também como uma grande geradora de impactos ambientais. Os agregados da construção civil perfazem os insumos minerais mais consumidos no mundo, dentre eles enquadram-se a brita, a areia e o cascalho. Cerca de 60 a 80% do volume de concreto é composto pelos agregados e a brita destaca-se devido à sua extensa utilização. Este trabalho tem por objetivo realizar a Avaliação do Ciclo de vida (ACV) da brita na produção de concretos para a construção civil, por meio da identificação e discussão de indicadores quantitativos das etapas de extração, beneficiamento, armazenagem, transporte, uso e disposição final. No desenvolvimento da metodologia foram utilizadas as recomendações normativas das NBR 14040 e 14044, em que há a divisão do estudo em quatro partes: Definição de objetivo e escopo; Análise de inventário do ciclo de vida (ICV); Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) e Interpretação. Os maiores impactos correspondem às seguintes categorias: Toxicidade humana (solo), Acidificação, Eutrofização e Aquecimento Global. Os resultados permitem afirmar que as etapas críticas de todo o ciclo de vida da brita são, em ordem decrescente: Extração, Transporte do beneficiamento aos caminhões e Disposição final. As emissões provenientes dessas etapas críticas correspondem àquelas de maior consumo de combustível. Como alternativas para mitigar e minimizar esses impactos propõe-se a manutenção preventiva dos equipamentos e o investimento em tecnologias que permitam a utilização de combustíveis menos poluentes, tais como o S50, S10, biodiesel e outros biocombustíveis.

Palavras chave: Avaliação do ciclo de vida; Brita; Construção Civil; Impactos Ambientais.

ABSTRACT

The civil construction is one of the most important activities for the economic and social development, however it also behaves as a major generator of environmental impacts. The aggregates for construction include crushed stone, sand and gravel and they are the most consumed inputs in the world. About 60 to 80% of the volume of concrete is composed by them and crushed stone has an extensive use. This study aims to wage the Life Cycle Assessment (LCA) of crushed stone in the production of concrete applied in civil construction, through the identification and discussion of quantitative stages of extraction, processing, storage, transport, use and final disposal. In the developing of the methodology we used the standard recommendations of ISO 14040 and 14044, where the study is divided in four parts: Definition of goal and scope, Life Cycle Inventory Analysis (LCI), Life Cycle Impact Assessment (LCIA) and Interpretation. The largest impacts related to the following categories: Human toxicity (soil), Acidification, Nutrient enrichment and Global Warming. The results indicate that the critical steps of the whole life cycle of gravel are, in descending order: Extraction, Transportation from processing to trucks and Final disposal. The emissions from these critical stages correspond to those of higher fuel consumption. As alternatives to mitigate and minimize these impacts we proposed preventive maintenance of equipment and investment in technologies that allow the use of less polluting fuels, such as S50, S10, biodiesel and other biofuels.

Key words: Life Cycle Assessment; Crushed stone; Civil Construction, Environmental impacts.

Lista de Figuras

Figura 1 – Evolução da demanda de agregados e projeções para 2022, em milhões de toneladas	23
Figura 2 – Consumo de brita e cascalho nos diversos setores com referência para o ano de 2009	24
Figura 3 – Distribuição espacial da unidade geológico-ambiental formadora do domínio DVM no estado de São Paulo	25
Figura 4 – Dimensões da sustentabilidade	27
Figura 5 – Metodologia PDCA	30
Figura 6 – Exemplo de sistema de produto	31
Figura 7 – Processos elementares	31
Figura 8 – Fases da ACV	34
Figura 9 – Alocação	37
Figura 10 – Passos para a ICV	40
Figura 11 – Elementos obrigatórios e opcionais da AICV	42
Figura 12 – Exemplo de classificação	44
Figura 13 – Abordagem <i>midpoint</i> e <i>endpoint</i>	46
Figura 14 – Etapas da ICV	54
Figura 15 – Fluxograma das etapas	60
Figura 16 – Extração a céu aberto	61
Figura 17 – Detalhe da perfuratriz e do compressor	62
Figura 18 – Transporte ao beneficiamento	63
Figura 19 – Esquema de beneficiamento com setas indicando o sentido do processo	64

Figura 20 – Detalhe do caminhão descarregando o material no início do processo de beneficiamento	66
Figura 21 – Britador primário com detalhe do uso de água	66
Figura 22 – Correia transportadora T04	67
Figura 23 – Detalhes das pilhas de diferentes granulometrias	67
Figura 24 – Pilha de armazenamento	68
Figura 25 – Transporte aos caminhões	69
Figura 26 – Transporte final	70
Figura 27 – Resultado da caracterização para a categoria de eutrofização	84
Figura 28 – Resultado da caracterização para a categoria de formação de ozônio fotoquímico	84
Figura 29 – Resultado da caracterização para a categoria de aquecimento global	85
Figura 30 – Resultado da caracterização para a categoria de toxicidade humana (ar)	85
Figura 31 – Resultado da caracterização para a categoria de toxicidade humana (água)	86
Figura 32 – Resultado da caracterização para a categoria de toxicidade humana (solo)	86
Figura 33 – Resultado da caracterização para a categoria de ecotoxicidade aguda (água)	87
Figura 34 – Resultado da caracterização para a categoria de ecotoxicidade crônica (água)	87
Figura 35 – Resultado da caracterização para a categoria de ecotoxicidade crônica (solo)	88
Figura 36 – Resultado da caracterização para a categoria de acidificação	88
Figura 37 – Normalização das categorias de impacto contempladas	89
Figura 38 – Correspondência entre as etapas e as categorias críticas do ciclo de vida da brita	90
Figura 39 – Resultado da caracterização para a categoria de consumo de recursos energéticos	91

Figura 40 – Resultado da caracterização para a categoria de consumo de recursos materiais	92
Figura 41 – Resultado da caracterização para a categoria de resíduos perigosos	93
Figura 42 – Resultado da caracterização para a categoria de resíduos de construção civil	93
Figura 43 – Resultado do uso de combustível no ciclo de vida	94
Figura 44 – Resultado do uso da água no ciclo de vida	95
Figura 45 – Emissões atmosféricas totais do ciclo de vida, excetuando-se o CO ₂	96

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Resultados da ICV: extração	74
Tabela 2 – Resultados da ICV: transporte ao beneficiamento	75
Tabela 3 – Resultados da ICV: beneficiamento	76
Tabela 4 – Resultados da ICV: transporte do beneficiamento aos caminhões	77
Tabela 5 – Resultados da ICV: transporte aos centros consumidores	78
Tabela 6 – Resultados da ICV: uso	79
Tabela 7 – Resultados da ICV: disposição final	80
Tabela 8 – Legenda das fontes	81
Tabela 9 – Legenda das etapas	83
Tabela 10 – Verificação de sensibilidade de alguns dados	98

Lista de Quadros

Quadro 1 – Classificação e uso das britas	26
Quadro 2 – Exemplo dos conceitos	43
Quadro 3 – Relação de alguns métodos de AICV	47
Quadro 4 – Enquadramento da escala geográfica nas categorias de impacto	48
Quadro 5 – Lista dos equipamentos do beneficiamento	65
Quadro 6 – Relação entre atividades e impactos ambientais	82
Quadro 7 – Parâmetros adotados do EDIP 1997	89
Quadro 8 – Extrapolação de dados para o edifício-exemplo	97

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
ANEPAC	Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNPQ	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DTU	Universidade Técnica da Dinamarca
DVM	Domínio do Vulcanismo Fissural Mesozóico do tipo <i>plateau</i>
EDIP	Environmental Development of Industrial Products
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
GEE	Gases de Efeito Estufa
GHG	Greenhouse Gases
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPL	Instituto de Desenvolvimento de Produto
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO	International Organization for Standardization
ICV	Análise de Inventário do Ciclo de Vida
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
NBR	Norma Brasileira

LCA	Life Cycle Assessment
LCI	Life Cycle Inventory Analysis
LCIA	Life Cycle Impact Assessment
PDCA	Plan Do Check Act

Sumário

1	INTRODUÇÃO	19
2	JUSTIFICATIVA	20
3	OBJETIVOS	20
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
4.1	Agregados para a construção civil	21
4.2	Produção de brita	24
4.3	Avaliação do Ciclo de Vida	26
4.4	Procedimentos metodológicos da ACV	33
4.4.1	Definição de objetivo e escopo	34
4.4.1.1	Função, unidade funcional e fluxo de referência	36
4.4.1.2	Fronteira do sistema e critérios de corte	36
4.4.1.3	Modelagem para ICV	36
4.4.1.4	Tipos e fontes de dados	37
4.4.1.5	Representatividade dos dados da ICV	38
4.4.1.6	Comparações entre sistemas	38
4.4.1.7	Bases para a AICV	38
4.4.1.8	Considerações quanto à revisão crítica	39
4.4.2	Análise de inventário do ciclo de vida (ICV)	39
4.4.2.1	Coleta de dados	40
4.4.2.2	Validação dos dados	41
4.4.2.3	Correlação dos dados e agregação	41
4.4.2.4	Refinamento da fronteira do sistema	41
4.4.3	Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV)	41

4.4.3.1	Seleção das categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização	42
4.4.3.2	Classificação	43
4.4.3.3	Caracterização	44
4.4.3.4	Normalização	44
4.4.3.5	Agrupamento	45
4.4.3.6	Ponderação	45
4.4.3.7	Análise da qualidade dos dados	45
4.4.4	Métodos específicos para AICV	46
4.4.5	Interpretação do ciclo de vida	52
5	METODOLOGIA APLICADA AO ESTUDO	53
5.1	Definição de objetivo e escopo	53
5.2	ICV	53
5.3	AICV	55
5.4	Interpretação	57
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
6.1	Definição de objetivo e escopo	58
6.1.1	Objetivo	58
6.1.2	Escopo	58
6.2	ICV	73
6.3	AICV	81
6.3.1	Resultados da AICV	83
6.3.2	Extrapolação dos resultados	96
6.4	Interpretação	97
6.4.1	Verificação de completeza	97

6.4.2	Verificação de sensibilidade	97
6.4.3	Verificação de consistência	98
7	CONCLUSÃO	98
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	99
	REFERÊNCIAS	100
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO NA MINERADORA	107
	APÊNDICE B – CÁLCULOS PARA A OBTENÇÃO DA ICV	112
	APÊNDICE C – CÁLCULOS PARA A OBTENÇÃO DA AICV	121

1 INTRODUÇÃO

Em termos de volume utilizado, o concreto é o material mais consumido no mundo, sendo que a cada ano é produzido mais de um metro cúbico por pessoa (SCRIVENER; KIRKPATRICK, 2008). Para a utilização do concreto são comumente empregados agregados e água, em proporções devidamente ajustadas. Os agregados são compostos por areia, brita e cascalho. Esses materiais são muito abundantes na natureza, mas possuem o menor valor unitário de todos os bens minerais industriais.

A produção de brita no Brasil, de acordo com Luz e Almeida (2012) envolve oficialmente 600 empresas, gerando cerca de 21.000 empregos diretos. Sabe-se que 60% das empresas produzem menos de 240.000 toneladas por ano, 30% entre 240.000 e 480.000 toneladas por ano e 10% produzem mais do que 480.000 toneladas por ano. Geralmente é necessária uma proximidade da jazida com o mercado consumidor, o que constitui característica fundamental para sua valorização econômica.

Tendo em vista os impactos ambientais associados à produção, utilização e descarte da brita destaca-se a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Seu princípio consiste em analisar os aspectos e impactos ambientais de um produto ou atividade por meio de um inventário de entradas e saídas do sistema considerado. Os limites da análise devem considerar as etapas de extração de matérias-primas, transporte, fabricação, uso e descarte, ou seja, todo o ciclo de vida do produto ou processo (SOARES; SOUZA; PEREIRA, 2006).

O conceito de ciclo de vida de um produto surge para incorporar produtos e processos anteriormente desprezados e tratados de forma linear à perspectiva ambiental. Nesse sentido a produção não é vista como apenas um fim, mas sim como uma parte essencial da composição do produto e que deve estar condizente às etapas anteriores de extração e posteriores de disposição final. O ciclo de vida pode ser visto segundo a ótica *cradle to grave*, ou seja, do berço ao túmulo, mas muitas práticas de reciclagem, reuso e remanufatura implicam na necessidade da ótica *cradle to cradle*, do berço ao berço, exprimindo a máxima eficiência ambiental do sistema de produto (COSTA, 2007).

As normas brasileiras que regulamentam a ACV são as ABNT NBR 14.040 e 14.044 (ABNT, 2009b; ABNT, 2009c). Elas dividem o estudo em quatro fases: Definição de objetivo e escopo; Análise de inventário do ciclo de vida (ICV); Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) e Interpretação. Essas fases ocorrem de maneira iterativa e contínua, favorecendo com que o estudo seja sempre aprimorado, tendo em vista o objetivo e os propósitos almejados.

A ACV, no âmbito das organizações e do mercado consumidor, pode ser aplicada em várias situações: no planejamento estratégico de novos produtos ou aprimoramento dos existentes, técnica ambiental de suporte para tomadas de decisão, afirmações comparativas divulgadas publicamente a cerca da viabilidade ambiental de um produto, escolhas de tipos de processos produtivos e matérias-primas menos impactantes, rotulagem e declarações ambientais, entre outros (RAMÍREZ, 2007).

2 JUSTIFICATIVA

A relevância do presente estudo está na necessidade de se estabelecer critérios ambientais mensuráveis para avaliar os principais impactos no ciclo de vida da brita, tendo em vista sua ampla utilização na construção civil. A ACV torna-se então uma técnica de suporte à tomada de decisão acerca de melhorias no sistema de produto, principalmente por meio da disponibilização de dados. Estes poderão contribuir para a compilação de um inventário brasileiro de produtos, tendo em vista esforços iniciais contemplados no projeto Inventário do Ciclo de Vida para a Competitividade Ambiental da Indústria Brasileira (SICV-Brasil) (IBICT, 2012).

Esse projeto tem como uma de suas ações, propor uma metodologia de Desenvolvimento de Inventário. Os estudos iniciais no setor de óleo diesel podem ser vistos em IBICT (2009). Entretanto são projetos que ainda não estão disponíveis ao público, enfatizando a necessidade de gerar informações científicas que os auxiliem. Salienta-se a necessidade da conjunção de Universidades, Instituições brasileiras (como ABCV, 2013), iniciativas privadas, entre outros, para a promoção da ACV, como já existe em outros países do mundo.

Outro aspecto importante é que a partir da revisão sistemática do tema, por meio da base *Web of Science* (WEB OF KNOWLEDGE, 2013) demonstrou-se que a ACV da brita aplicada na construção civil é um tema inédito. Alguns artigos científicos apresentam o tema tratando-o apenas por meio de dados secundários. Dessa forma, ressalta-se a necessidade de estudos de ACV voltados para os agregados da construção civil, tendo em vista sua ampla utilização mundial, os impactos ambientais associados e a aplicabilidade no Brasil.

3 OBJETIVOS

O objetivo geral é avaliar o ciclo de vida da brita para sua utilização na produção de concretos para a construção civil, por meio da aplicação de indicadores quantitativos de

impacto ambiental das etapas de extração, beneficiamento, armazenagem, transporte, uso e disposição final. Os objetivos específicos são:

- Identificar as principais entradas e saídas do sistema de produto;
- Apontar as etapas críticas do ciclo de vida da brita;
- Analisar os principais impactos do ciclo de vida;
- Propor melhorias ambientais para mitigar os impactos;
- Gerar informações científicas para fomentar a vertente ambiental do uso da brita na produção de concretos para a construção civil.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir está apresentada a revisão bibliográfica dos principais elementos do estudo.

4.1 Agregados para a construção civil

Como afirmado anteriormente, devido ao seu uso em concretos e argamassas, os agregados para a indústria da construção civil são os insumos mais consumidos no mundo e são essenciais para a maioria das obras de construção, incluindo edificações e infraestruturas. Eles são materiais granulares e de dimensões e propriedades adequadas para a construção civil (BAUER, 2008; IBRAM, 2010; VALVERDE, 2001).

Além disso, apresentam custos relativamente baixos e não entram em complexas reações químicas com a água, como ocorre com o cimento. Estudos indicam que a brita representa em média, 2% do custo global de uma edificação e 60% do seu volume. Ela é extraída diretamente das jazidas por meio de explosivos e após isso, é beneficiada e transportada aos centros consumidores (LUZ; ALMEIDA, 2012).

A visão tradicional de que são materiais inertes está sendo discutida, pois esses materiais desempenham muitas propriedades importantes. Dentre suas características estão: porosidade, composição ou distribuição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial, resistência à compressão, módulo de elasticidade e tipo de substâncias deletérias presentes, no caso de agregados artificiais como escórias de alto forno, rejeitos industriais, entre outros (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

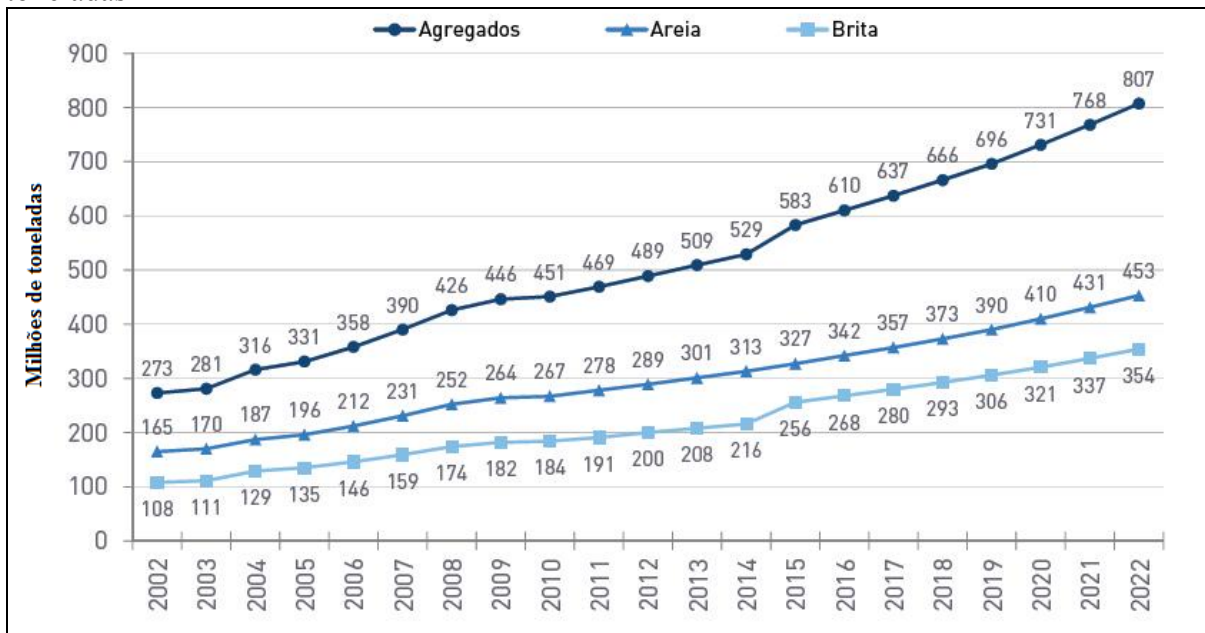
Os agregados podem ocupar de 60 a 80% do volume total do concreto. Cerca de 90% dos agregados utilizados na construção civil são do tipo mineral natural, que incluem areia,

brita e cascalho originários de jazidas naturais. Portanto, a função do agregado, dependendo de sua dimensão e propriedade intrínseca de cada tipo de agregado é de exercer grande influência na resistência, estabilidade dimensional e durabilidade do concreto. E, além disso, desempenha papel relevante na determinação do custo e a trabalhabilidade das misturas (Mehta; Monteiro, 2008)

Tendo em vista que esses bens minerais proporcionam os principais elementos para a sustentação básica, a comodidade e a qualidade de vida da população, o consumo de agregados per capita denota um importante indicador da situação econômica e social de um país, de acordo com o seu nível de desenvolvimento. Em relação a esse indicador, o Brasil apresentou 3,31 toneladas por habitante no ano de 2010. Este valor está abaixo dos Estados Unidos, que para o ano de 2009 apresentou 6,3 toneladas por habitante (ANEPAC, 2010; TANNO; SINTONI, 2003).

De acordo com IBRAM (2011), a previsão é que a produção de agregados no Brasil cresça 56% entre 2007 e 2016. Isso se deve ao fato do aumento dos investimentos nacionais em infraestrutura para que o Brasil sedie a Copa do Mundo de 2014 e as Olimpíadas em 2016 garantirão que a demanda por agregados continue em alta até 2022, como pode ser observado na Figura 1. Deve-se ressaltar que o estado de São Paulo, em 2009, foi responsável por 55,4% da demanda de agregados, sendo o maior consumidor do país.

Figura 1 – Evolução da demanda de agregados e projeções para 2022, em milhões de toneladas

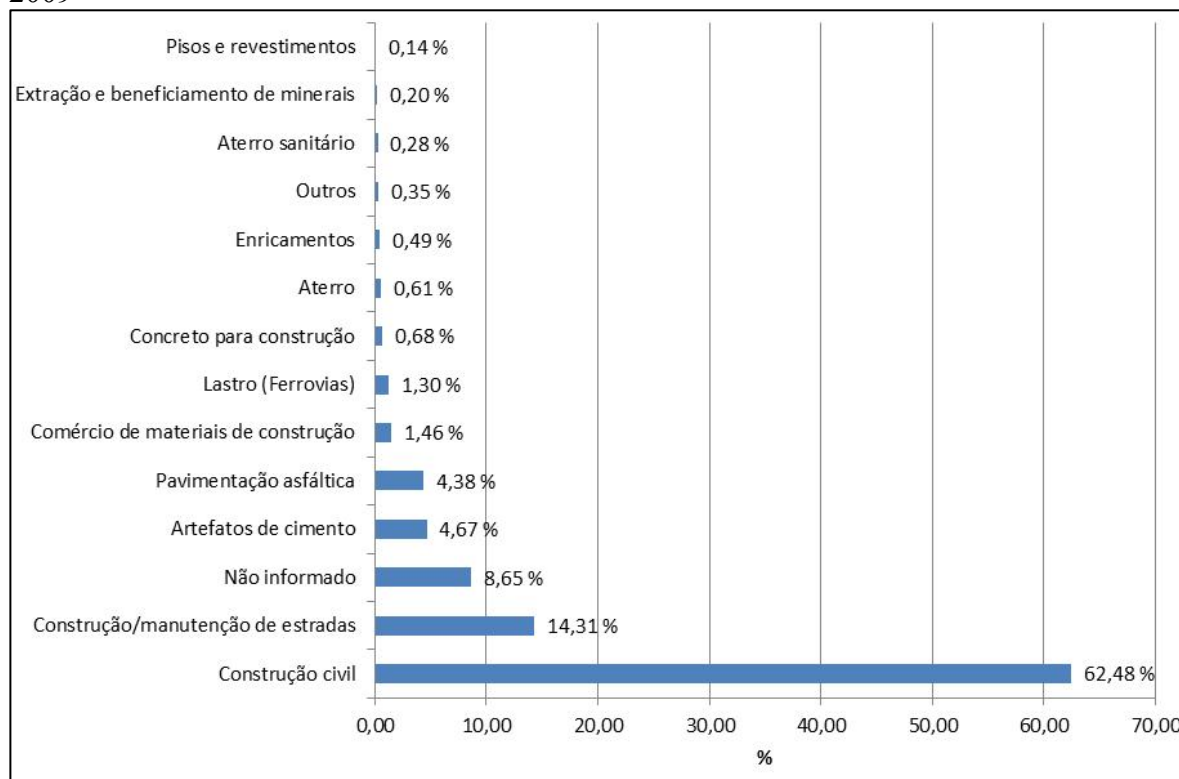


Fonte: IBRAM (2011)

Os agregados podem ser classificados quanto à origem em naturais ou artificiais, à densidade em leves, normais e pesados e ao tamanho dos fragmentos em miúdo ou graúdo. Dentre eles, a brita é classificada como artificial, pois é extraída na forma de blocos e precisa passar por fragmentação (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2001). Quanto à densidade é normal e em relação ao tamanho dos fragmentos é graúda, com dimensões entre 4,8 mm a 100 mm (ABNT NBR 7225: 1993). De acordo com o Ministério de Minas e Energia a participação dos tipos de rocha utilizados na produção de brita, no Brasil, é a seguinte: granito e gnaisse – 85%; calcário e dolomito – 10%; e basalto e diabásio – 5%.

Ainda no que diz respeito à produção de brita, de acordo com o Ministério de Minas e Energia (2001) o Estado de São Paulo responde por cerca de 30% da produção nacional. Outros importantes estados produtores são Minas Gerais (12%), Rio de Janeiro (9%), Paraná (7%), Rio Grande do Sul (6%) e Santa Catarina (4%). E no que tange aos seus setores de consumo, o DNPM (2010) mostra claramente que o consumo de brita e de cascalho é destinado predominantemente à construção civil, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Consumo de brita e cascalho nos diversos setores com referência para o ano de 2009



Fonte: adaptado de DNPM (2010)

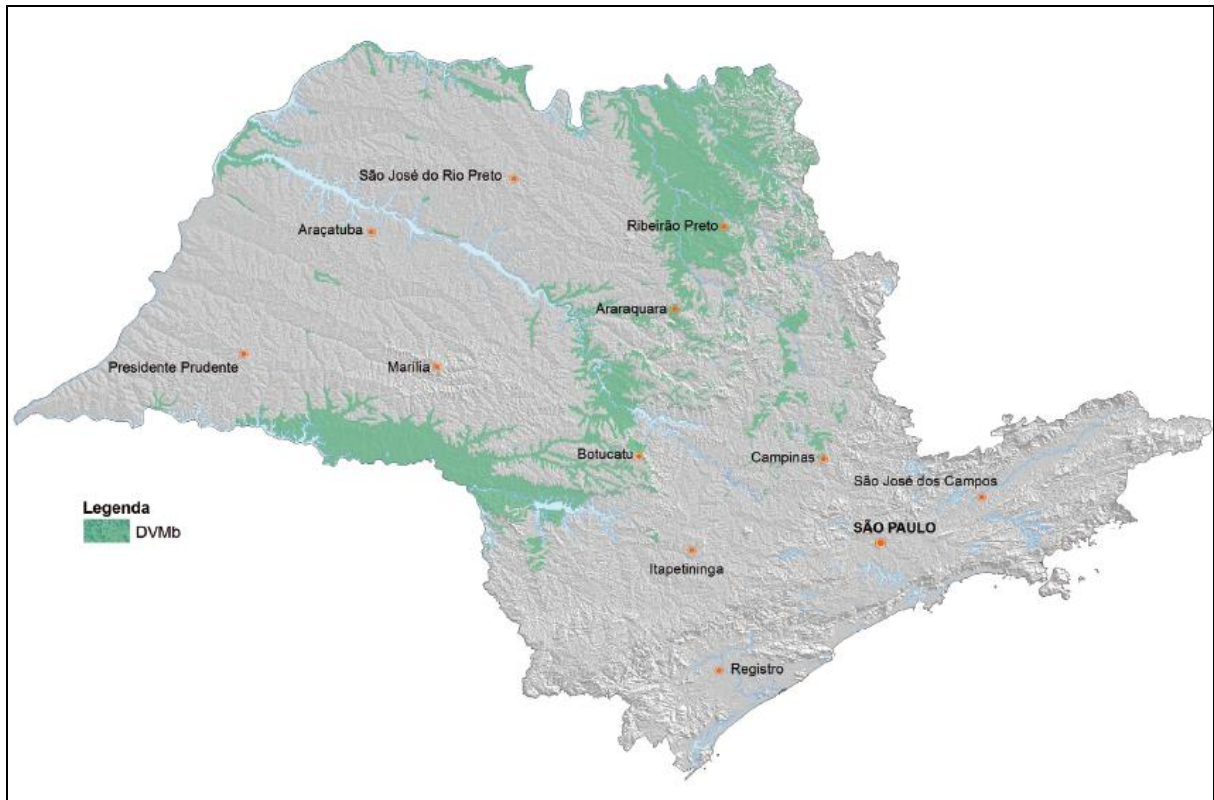
De acordo com o DNPM (2010) não há dados disponíveis que quantifiquem as reservas brasileiras desse tipo de rocha, entretanto pode-se citar que para o ano de 2009 a produção bruta de brita e cascalho foi de 166 milhões de toneladas, atingindo o segundo lugar no *ranking* de minerais não metálicos, ficando logo atrás da areia. Mesmo tendo essa posição, esses materiais possuem alto valor agregado, pois a produção vendida, consumida ou transferida para industrialização corresponde à aproximadamente cinco bilhões de reais, primeiro lugar no *ranking* dos não metálicos.

4.2 Produção de brita

Como especificado anteriormente, a brita pode ser proveniente de diversos tipos de rochas. Geralmente as rochas provenientes da Formação Serra Geral, como basalto, diabásio, riolito, andesito e riodacito são mais indicadas para o uso por possuírem boas qualidades físicas e químicas. Esses tipos de rochas são encontrados no Domínio do Vulcanismo Fissural Mesozóico do tipo *plateau* (DVM), correspondendo a 13,5 % do território total do estado de São Paulo. A unidade geológico ambiental que compõe o domínio DVM é denominada por DVMB que é formada por extensos e espessos pacotes de sucessivos derrames de lavas

efusivas, principalmente de composição básica, cristalizadas em basaltos e, cuja ocorrência encontra-se na Figura 3(CPRM, 2010).

Figura 3 – Distribuição espacial da unidade geológico-ambiental formadora do domínio DVM no estado de São Paulo



Fonte: CPRM (2010)

A produção de brita proveniente do basalto pode ser simplificada em quatro etapas: extração, beneficiamento, armazenagem e transporte. Em relação à extração, a brita é obtida por lavra a céu aberto, com avanço de meia encosta e desmonte por explosivos. Primeiramente realiza-se uma operação de decapeamento do maciço que consiste na retirada de solo e demais materiais que constituem o estéril. Secundariamente há o desmonte por explosivos, com o auxílio de uma perfuratriz pneumática ou hidráulica, segundo plano de fogo previamente definido. Se necessário, pode-se utilizar técnicas como o fogo secundário, os martelos rompedores ou o *drop ball*, com o objetivo de adequar o material a uma dimensão compatível para o britador (FIESP, 2006).

O material desmontado é carregado por pás carregadeiras ou escavadeiras – *shovel* ou retro – e transportado por caminhões para a usina de beneficiamento para a britagem. No beneficiamento há uma sequência de operações unitárias de peneiramento e britagem que

consistem na redução dimensional dos blocos e segregação dos mesmos em diversas granulometrias. Após isso, o material é então armazenado provisoriamente em pilhas ou a céu aberto para ser destinado aos centros consumidores por meio de transporte rodoviário (ARAUJO NETO, 2006).

Segundo a ABNT NBR 7211: 2009 (ABNT, 2009a) a brita é classificada entre 4,75 a 75 mm, sendo que cada faixa granulométrica está devidamente descrita nessa norma. Entretanto, comercialmente ainda utiliza-se a denominação antiga, proposta pela ABNT NBR 7225: 1993 (ABNT, 1993), como ilustra o Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação e uso das britas

Nomenclatura	Faixa granulométrica (mm)	Finalidades
Pó de pedra	< 0,075	Concreto asfáltico, artefatos de concreto, blocos e guias
Pedrisco	0,075-4,8	
Brita 1	4,8-12,5	Estruturas de concreto armado
Brita 2	12,5-25	
Brita 3	25-50	
Brita 4	50-76	Pavimentação, macadames hidráulicos e gabiões
Brita 5	76-100	Lastro para estrutura de concreto armado, preenchimento de gabiões, concreto ciclópico

Fonte: adaptado de ABNT (1993); Tanno e Sintoni (2003)

O transporte é uma etapa crítica da produção, pois influi com cerca de 1/3 a 2/3 do custo final do produto. Como o transporte é comumente o rodoviário, há uma indução à formação de micromercados regionalizados separados por um raio de até 150 km. Essa restrição imposta pela distância mostra-se como uma barreira importante à entrada desses produtos no mercado (SERNA; REZENDE, 2009).

4.3 Avaliação do Ciclo de Vida

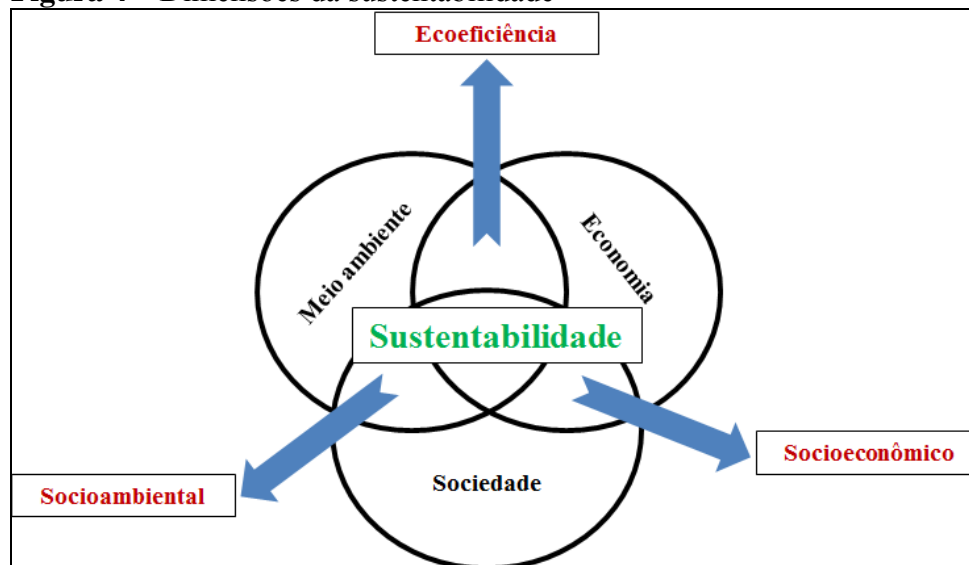
A evolução da problemática ambiental, aliada à superação do modelo linear e mecanicista do pensamento científico ocidental pelas teorias sistêmicas, representou uma profunda revolução na sociedade. Essas teorias sistêmicas, que surgiram a partir da primeira metade do século XX, são pautadas em termos de conectividade, de relações entre as partes, de contextos e de sistemas propriamente ditos. Dessa forma, tal como ocorre com os organismos e sistemas vivos, embora se possa discernir as partes individuais e reconhecer sua importância, as propriedades essenciais dos mesmos surgem das relações e interações entre as partes. Ou seja,

a natureza do todo é sempre superior à mera soma de suas partes (CAPRA, 1996; CAPRA, 2006).

Aliado a essa mudança de paradigma e observando que as ações corretivas ou *end-of-pipe* aplicadas aos problemas ambientais entre os anos de 1960 e 1970, não atingiam o objetivo de garantir a qualidade ambiental, surge a Gestão Ambiental. Segundo Almeida (2010) a Gestão Ambiental é um processo que objetiva o cumprimento de ações dos mais diversos setores da sociedade buscando garantir a adequação dos meios de exploração dos recursos naturais às especificações ambientais, de acordo com princípios e diretrizes claramente definidos e acordados entre os setores. Dessa forma, a gestão ambiental integra a política, o planejamento e o gerenciamento ambiental, visando à sustentabilidade.

A sustentabilidade é pautada em três dimensões, quais sejam: meio ambiente, economia e sociedade, além de suas intersecções, ilustradas na Figura 4. A ecoeficiência busca mitigar e/ou minimizar os impactos ambientais para não comprometer as necessidades humanas nem o meio ambiente. O aspecto socioeconômico permeia a justificação ambiental da funcionalidade do produto para a sociedade. E por fim, o aspecto socioambiental congrega as relações sociais acerca da indústria e da sociedade (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005).

Figura 4 – Dimensões da sustentabilidade



Fonte: adaptado de Hauschild, Jeswiet e Alting (2005)

A Gestão Ambiental pode ser aplicada em âmbito público ou privado, dependendo de sua abrangência (SANCHES, 2011). A pública estará alicerçada mais fortemente à política e ao planejamento ambiental, enquanto que a privada ou empresarial será voltada para o

gerenciamento ambiental. Como exemplo de um instrumento da Gestão Ambiental pública pode-se citar a Avaliação de Impacto Ambiental que é reconhecida como “um mecanismo potencialmente eficaz de prevenção ao dano ambiental” (SÁNCHEZ, 2006, p.46).

A Gestão Ambiental empresarial se insere no conceito de ecologia industrial. A ecologia industrial surge por volta de 1980 com o intuito de introduzir o conceito de metabolismo, originalmente aplicado na biologia, no âmbito do desenvolvimento industrial. Sendo assim, haverá uma analogia entre os processos de internos dos organismos vivos, tais como suas funções vitais de ingestão de alimentos, excreção, reprodução e crescimento com o contexto industrial de consumo de materiais e energia para a transformação em produtos e a geração de resíduos, passando de uma baixa para uma alta entropia. Vale salientar que ao realizar essa analogia há algumas similaridades entre os sistemas, mas também limites importantes e um deles é a entropia (GONZÁLEZ, 2009).

A entropia é uma quantidade física associada à Segunda lei da Termodinâmica, que encerra: “[...] ao produzir trabalho em um processo cíclico, não é suficiente apenas absorção de calor pela máquina térmica, porque também é necessário que a máquina emita alguma quantidade de calor” (REIS; BASSI, 2012, p.1057). Ou seja, a partir da realização de um processo biológico ou industrial haverá a eliminação de calor e/ou resíduos, denotando uma entropia positiva. Visto isso, a questão fundamental é centrada na busca de alternativas que minimizem a geração de calor e resíduos nos sistemas industriais, maximizando sua ecoeficiência.

Dentre essas alternativas, podem-se citar as ferramentas da ecologia industrial. De acordo com Despeisse et al. (2012) elas podem ser agrupadas em quatro categorias:

- 1) Avaliação, monitoramento e inventário;
- 2) Engenharia, *design* e melhoria;
- 3) Políticas ambientais e suas aplicações; e
- 4) Definição de prioridades, gestão e tomada de decisões.

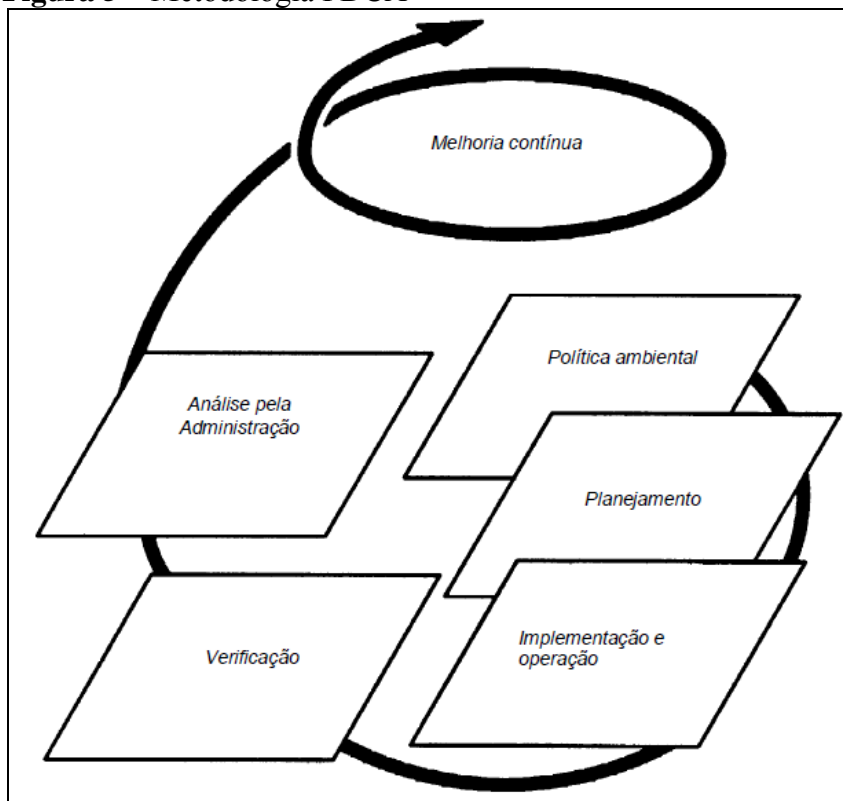
No que diz respeito à primeira categoria, destaca-se a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que será descrita posteriormente. Em relação à sua normalização, a ACV está inserida na série de normas *International Organization for Standardization* (ISO) 14.000 que agrega além da ACV outras normas referentes à Gestão Ambiental, tais como: os Sistemas de Gestão Ambiental, as Auditorias Ambientais, a Rotulagem Ambiental, a Avaliação de

Desempenho Ambiental e os Aspectos Ambientais em Normas de Produtos. É importante destacar que estas normas foram criadas no Comitê Técnico TC207 – Gestão Ambiental da ISO, criado em 1993. No Brasil, a ISO é representada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e o comitê com estrutura semelhante ao TC207 é denominado por CB38 (ABNT, 2012; SANCHES, 2011).

Visto o estreitamento entre a Gestão Ambiental e a ACV, as organizações dos mais diversos setores estão buscando um desempenho ambiental adequado à legislação ambiental vigente, para almejar o controle dos impactos de suas atividades, produtos e serviços como forma também de reduzir os custos desnecessários provenientes da degradação do meio ambiente. Para isso, baseiam-se no princípio do PDCA (*Plan, Do, Check e Act* ou Planejar, Executar, Verificar e Agir), aplicado continuamente, vide Figura 5. Sendo que (ABNT, 2004):

1. Planejar: Estabelecer os objetivos e processos necessários para atingir os resultados em concordância com a política ambiental da organização;
2. Executar: Implementar os processos;
3. Verificar: Monitorar e medir os processos em conformidade com a política ambiental, objetivos, metas, requisitos legais e outros, e relatar os resultados;
4. Agir : Agir para continuamente melhorar o desempenho do sistema da gestão ambiental.

(ABNT, 2004, p.6)

Figura 5 – Metodologia PDCA

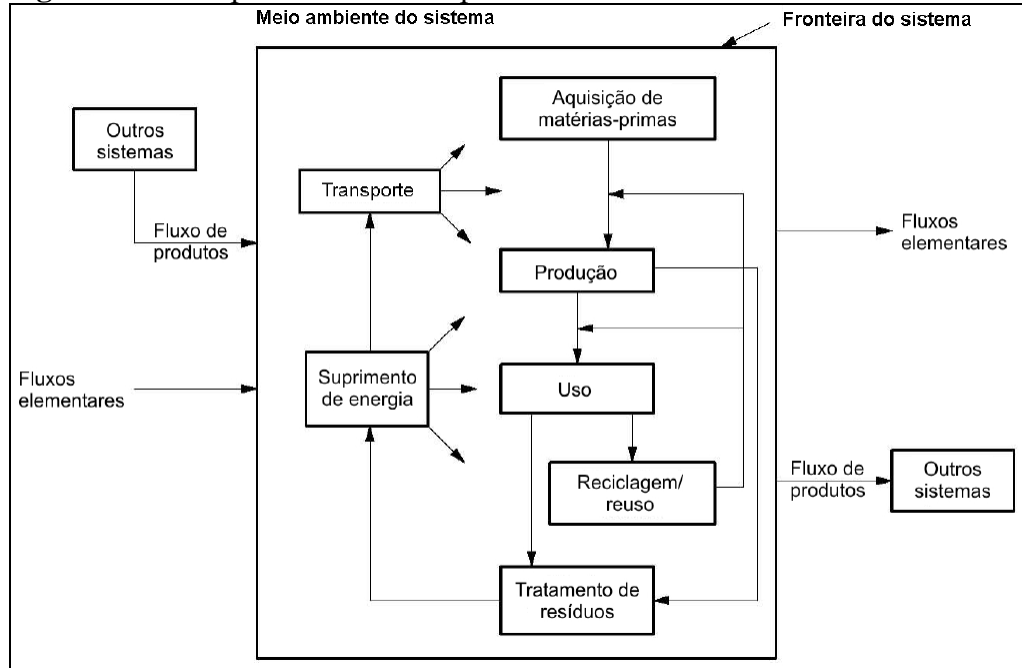
Fonte: ABNT (2004)

A ACV implica na análise dos aspectos¹ e impactos² ambientais potenciais de um produto ao decorrer de todo o seu ciclo de vida, ou seja, desde a extração de matérias-primas, produção, uso, pós-uso, reciclagem e disposição final. O ciclo de vida dos produtos é modelado pela ACV por meio de um sistema de produto exemplificado na Figura 6, que é caracterizado por sua função e não meramente por seu produto final. Esse sistema é composto por um conjunto de processos elementares, conectados uns aos outros por fluxos de produtos intermediários e ao meio ambiente por fluxos elementares de entrada e saída, como consta na Figura 7(ABNT, 2009b).

¹ aspecto ambiental: “elemento das atividades ou produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente” (ABNT, 2004, p.10).

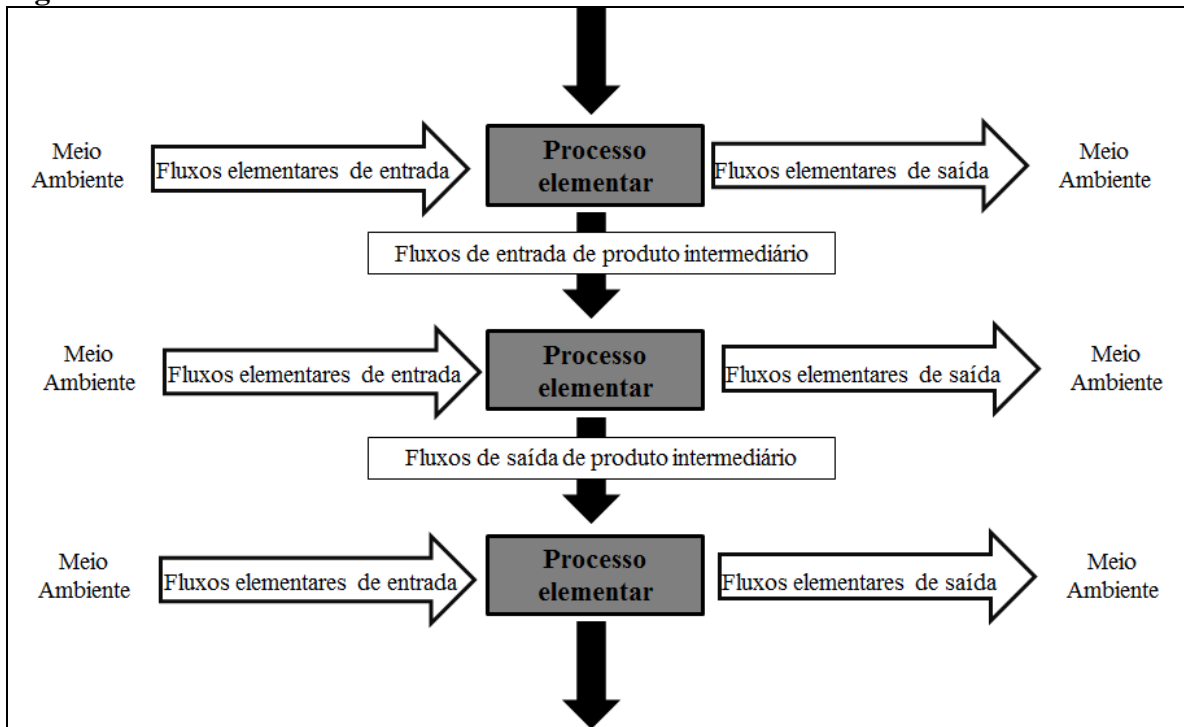
² impacto ambiental: “qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização” (ABNT, 2004, p.10).

Figura 6 – Exemplo de sistema de produto



Fonte: ABNT (2009b)

Figura 7 – Processos elementares



Fonte: adaptado de ABNT (2009b)

A aplicabilidade da ACV situa-se nos mais diversos aspectos, citados a seguir (ABNT, 2009b):

- Sistema de Gestão Ambiental e Avaliação de Desempenho Ambiental;
- Rótulos e declarações ambientais;
- Desenvolvimento e normas de produtos;
- Comunicação ambiental;
- Quantificação, monitoramento e elaboração de relatórios de emissão de poluentes.

Outras aplicações também podem ser encontradas (ABNT, 2009b), entre as quais:

- Avaliação de Impacto Ambiental;
- Contabilidade da Gestão Ambiental;
- Avaliação de políticas;
- Avaliação da sustentabilidade, incluindo aspectos sociais e econômicos;
- Análise de fluxo de materiais e substâncias;
- Avaliação, análise e gestão de risco e perigo de produtos e instalações;
- Gestão de produtos e da cadeia de fornecedores (stakeholders);
- Gestão do Ciclo de Vida.

Como a ACV demanda uma grande quantidade de dados, podem-se utilizar *softwares* que permitem principalmente a execução das fases de ICV e AICV, baseadas em um banco de dados. Deve-se salientar, no entanto, que o Brasil não possui um banco de dados público disponível para ACV. Para tanto, é importante avaliar se a perspectiva tecnológica, geográfica e temporal do banco de dados do *software* pode se enquadrar nos objetivos previstos devido às peculiaridades do país (PEREIRA, 2004).

Por fim, deve-se salientar que todas as técnicas possuem limitações e é importante compreender aquelas associadas à ACV. A ABNT (2001) caracteriza as seguintes:

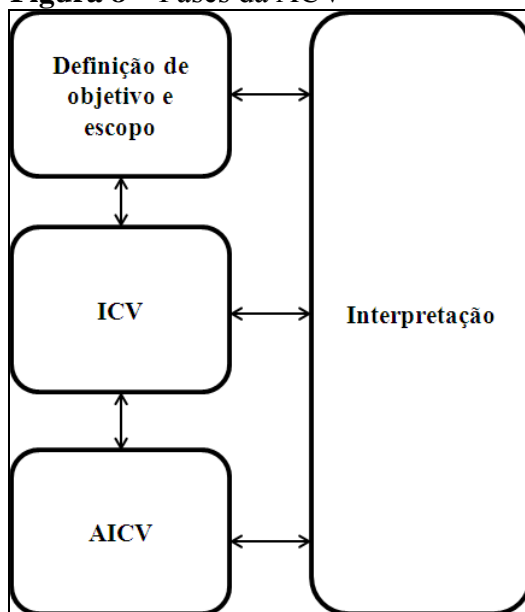
- A natureza das escolhas e suposições feitas na ACV (por exemplo, estabelecimento das fronteiras do sistema, seleção das fontes de dados e categorias de impacto) pode ser subjetiva;
- Os modelos usados para a análise do inventário ou para avaliar impactos ambientais são limitados pelas suas suposições e podem não estar disponíveis para todos os impactos potenciais ou aplicações;

- Os resultados de estudos as ACV enfocando questões globais ou regionais podem não ser apropriados para aplicações locais, isto é, as condições locais podem não ser adequadamente representadas pelas condições globais ou regionais;
- A exatidão dos estudos de ACV pode ser limitada pela acessibilidade ou disponibilidade de dados pertinentes, ou pela qualidade dos dados, por exemplo, falhas, tipos de dados, agregação, média, especificidades locais;
- A falta de dimensões espaciais e temporais dos dados do inventário usados para avaliar o impacto introduz incerteza nos resultados dos impactos. Esta incerteza varia de acordo com as características espaciais e temporais de cada categoria de impacto.
(ABNT, 2001, p.2)

4.4 Procedimentos metodológicos da ACV

A ACV está normalizada, no contexto brasileiro, segundo ABNT em duas normas: a ABNT/NBR 14040 (ABNT, 2009b) e a ABNT/NBR 14044 (ABNT, 2009c). Dessa forma, a metodologia que a norma propõe, estabelece a divisão do estudo em quatro fases: Definição de objetivo e escopo; Análise de inventário do ciclo de vida (ICV); Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) e Interpretação, cuja relação está exemplificada na Figura 8. Devido a sua natureza iterativa, nota-se que as fases podem ser continuamente ajustadas ao longo do estudo. A seguir é feita uma descrição de cada uma dessas fases, elencando suas principais características.

Como dito anteriormente, a realização de um estudo de ACV pode ser feita com o auxílio de *softwares*, como o Gabi. Esse *software* permite desde a realização do ICV a alguns aspectos da Interpretação. No caso específico do Gabi, sua versão educacional gratuita pode ser obtida através de GABI (2013), além de tutoriais e manuais de utilização. Mas vale ressaltar que os *softwares* devem ser utilizados como ferramentas de apoio às tomadas de decisão, sendo imprescindível a análise crítica dos resultados e cálculos dos usuários.

Figura 8 – Fases da ACV

Fonte: adaptado de ABNT (2009b)

4.4.1 Definição de objetivo e escopo

A definição do objetivo é a primeira fase da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e, portanto, será decisiva para as demais fases do estudo. O desempenho da ACV e os requisitos de qualidade do estudo são definidos no objetivo. Por esse motivo ele deverá orientar o escopo, que por sua vez, servirá para a Análise de Inventário do Ciclo de Vida (ICV), a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) e a fase de Interpretação. E como se trata de uma técnica iterativa, o objetivo poderá sofrer alterações ao longo do desenvolvimento da ACV (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

Seis aspectos devem ser previstos na definição do objetivo:

- 1) Definição da aplicação e dos propósitos do estudo;
- 2) Limitações do método, suposições e abrangência;
- 3) Razões da realização do estudo e contexto da decisão;
- 4) Público alvo;
- 5) Afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente; e
- 6) Responsabilidade e financiamento do estudo e demais atores envolvidos.

O primeiro aspecto deve indicar qual será a finalidade do estudo. O segundo aspecto permeia a avaliação de quais etapas do ciclo de vida deverão ser utilizadas na análise e quais

as unidades de processo irão regê-las, verificando se há superposição de processos. O terceiro denota a necessidade de apontar as razões para o desenvolvimento do estudo, incluindo suas motivações principais e especificando o contexto da decisão. O público alvo do estudo indica quais são as intenções da comunicação dos relatórios finais da ACV. Esse aspecto auxilia na identificação de necessidades e nível de detalhamento técnico almejado (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

O aspecto cinco permeia um tipo específico de ACV, denotada quanto à comparabilidade de produtos concorrentes possuidores da mesma função. Esse aspecto possui um conjunto de procedimentos especiais, já que será alvo de comparações entre os consumidores finais. Por fim, o último aspecto deve indicar as organizações responsáveis pela autorização e/ou financiamento do estudo, incluindo a disponibilidade de especialistas para a realização da ACV (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

De acordo com European Commission (2010a), após essas definições haverá a realização do escopo que pode ser delineado pelos seguintes itens:

- O sistema ou processo de estudo e sua função, unidade funcional e fluxo de referência;
- O tipo e as fronteiras do estudo de ICV/ACV, juntamente com a aplicação;
- A modelagem para a ICV e como lidar com os problemas de multifuncionalidade de processos e produtos;
- O tipo, qualidade e fonte dos dados e informações e especialmente requisitos de precisão quanto ao máximo de incertezas permitidas;
- Os limites do sistema, requerimentos de completeza, e critérios de corte;
- Os requisitos de qualidade dos dados em relação aos aspectos tecnológicos, representatividade espacial e temporal e adequações;
- Os requisitos especiais no caso de afirmações comparativas;
- As categorias de impacto e a seleção e/ou especificação de metodologia para a AICV, incluindo os critérios de normalização e ponderação;
- A identificação de necessidade de revisão crítica e o planejamento do relatório dos resultados.

4.4.1.1 Função, unidade funcional e fluxo de referência

A função e a unidade funcional denotam respectivamente, qualitativa e quantitativamente, o objeto alvo de uma ACV. A função do produto demonstra suas características de desempenho. A unidade funcional é uma grandeza necessária para normalizar os fluxos de entrada e de saída do sistema de produto, claramente definida e mensurável e aliada à sua função. Após a definição da unidade funcional, haverá a definição do fluxo de referência³, que é a medida da saída de um processo necessária para realizar sua função expressa pela unidade funcional (ABNT, 2009c; EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

4.4.1.2 Fronteira do sistema e critérios de corte

A definição da fronteira do sistema implica em eleger quais processos elementares serão incluídos no estudo. A supressão de algum estágio do ciclo de vida deve ser devidamente justificada e só é permitido se não provocar uma mudança significativa nas conclusões gerais do estudo. Existem algumas fronteiras usualmente utilizadas: *gate to gate* (estudo de uma corporação); *cradle to gate* (da extração à produção) e *cradle to grave* (da extração à disposição final). É definido também o critério de corte, em que os processos são analisados segundo sua contribuição quantitativa ao ciclo de vida. Sendo assim, se algum processo não influencia relevante e quantitativamente o sistema, esse deverá ser cortado da ACV (ABNT, 2009c; EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

4.4.1.3 Modelagem para ICV

Uma importante decisão que fundamentará a ICV é a modelagem do sistema, podendo ser: atribucional ou consequente, com ou sem o uso de alocação do sistema. Essa decisão deverá estar atrelada ao objetivo da ACV implicará em vários aspectos, incluindo como os dados do inventário serão obtidos (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

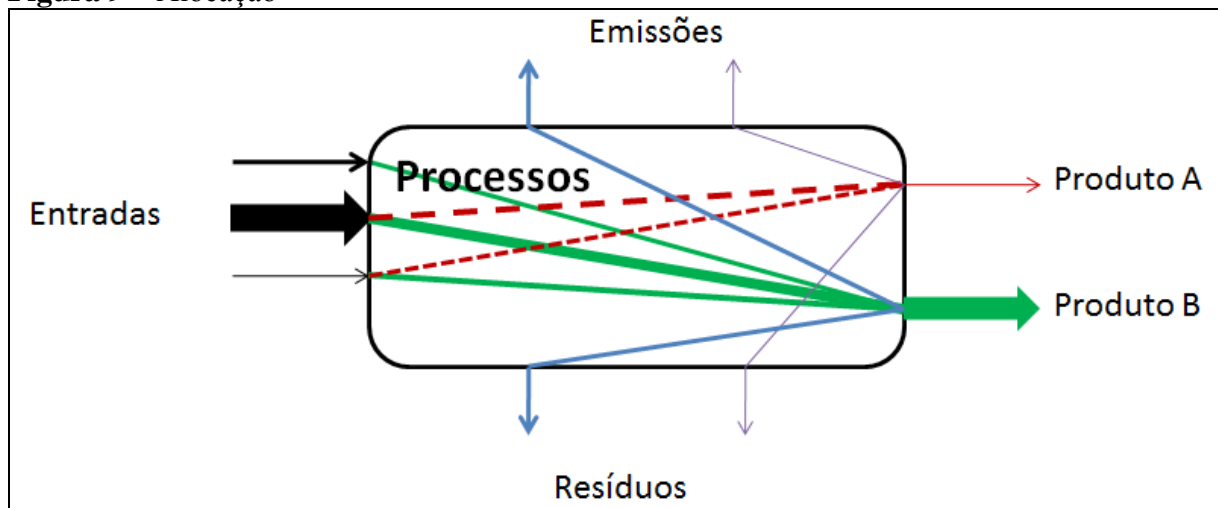
O modelo atribucional remete a uma ACV descritiva, mensurável, com dados históricos e que perpassa a descrição de impactos potenciais atribuídos a um produto ou sistema de produtos. Já o modelo consequente remete a uma ACV prospectiva, passível de decisões, com dados baseados em cadeias produtivas genéricas e/ou hipotéticas e perpassa a

³ fluxo de referência: “medidas das saídas de processos em um dado sistema de produto requeridas para realizar a função expressa pela unidade funcional”. (ABNT, 2009b, p. 5)

interação com demais sistemas de produtos para providenciar mecanismos para tomadas de decisão a cerca do mercado consumidor, mudanças dos perfis de consumidores, etc (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

A alocação é um procedimento adotado quando há o problema da multifuncionalidade, ou seja, quando uma mesma entrada ou saída é compartilhada por dois sistemas de produtos. A alocação atua dividindo os valores das entradas e saídas individuais entre as cofunções de acordo com algum critério estabelecido, podendo ser uma das propriedades das cofunções, por exemplo, o conteúdo do elemento, o conteúdo de energia, a massa, o preço de mercado, com consta a Figura 9. Mas quando possível, para evitar a alocação, sugere-se a subdivisão do processo multifuncional em processos monofuncionais ou unitários (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

Figura 9 – Alocação



Fonte: adaptado de EUROPEAN COMMISSION (2010a)

4.4.1.4 Tipos e fontes de dados

No escopo da ACV deve-se determinar qual é a qualidade almejada de todos os dados. A qualidade dos dados é composta por: acurácia, precisão/incerteza e completeza do inventário. Dois tipos de dados podem ser encontrados: específicos e genéricos, ou em uma outra denominação, primários e secundários. Os dados primários referem-se àqueles adquiridos diretamente na fonte, por isso são específicos para a ACV. Dados secundários são obtidos na literatura e geralmente são mais genéricos. Entretanto, ambos são utilizados e devem ser documentados e justificados em qual situação serão utilizados (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

4.4.1.5 Representatividade dos dados da ICV

A representatividade indica o quão verdadeiros são os dados do processo em relação três perspectivas: tecnológica, geográfica e temporal. A adequação indica o grau que um processo utilizado pode representar efetivamente um processo verdadeiro do sistema analisado. A representatividade tecnológica está relacionada ao processo e ao produto e identifica o quão verdadeiros são os dados do inventário em relação à sua documentação e/ou especificações descritivas. A representatividade geográfica identifica o quão verdadeiros são os dados do inventário em relação à localização, esse aspecto é muito importante devido às alterações de dados segundo as peculiaridades de cada local. E a representatividade temporal identifica se os dados da ICV são coerentes com a atualidade (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

4.4.1.6 Comparações entre sistemas

Em estudos comparativos, deve-se avaliar primeiramente se há equivalência entre os sistemas de produto principalmente no que tange a suas funções. Para realizar estudos comparativos é necessário haver a mesma unidade funcional e considerações metodológicas equivalentes, tais como desempenho, fronteiras do sistema, qualidade dos dados, procedimentos de alocação, regras para decisão quanto à avaliação de entradas e saídas e avaliação de impacto (ABNT, 2009c).

4.4.1.7 Bases para a AICV

Deve-se planejar o tipo de metodologia de AICV que será utilizado, tendo em vista as categorias de impacto previstas no estudo. Estas devem sempre estar consistentes aos objetivos, sendo que a exclusão e/ou inclusão de alguma categoria deve ser documentada e justificada. Na AICV poderá haver as etapas opcionais de normalização e ponderação que oferecem suporte à etapa de interpretação (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

Na normalização os resultados da ICV são expressos por base em um sistema comum de referência, de maneira que os valores da ICV sejam divididos pelo respectivo valor de referência. Geralmente é utilizado o valor de referência conhecido por *per capita*. Na ponderação, o resultado da ICV é multiplicado por um fator com o objetivo de refletir a relevância do impacto (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

4.4.1.8 Considerações quanto à revisão crítica

A revisão crítica⁴ deve ser realizada por especialistas que não foram envolvidos na execução do estudo de ACV. Isto é geralmente benéfico para a qualidade, credibilidade e o valor do estudo. O tipo de revisão crítica (revisão interna independente, revisão externa independente, revisão do painel) depende da aplicação da ACV e deve ser documentada, justificada e prevista no escopo do estudo (ABNT, 2009c; EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

O relatório é um documento essencial para a ACV. A forma e o nível de detalhamento do relatório dependem primariamente de três aspectos: o tipo de entrega do estudo, o propósito e a aplicação do estudo e o público alvo. A forma do relatório pode ser (ABNT, 2009c; EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

- Clássica com detalhamento, constando um texto detalhado com gráficos e tabelas;
- Mais condensada e formal, constando o banco de dados;
- Muito condensada, como um sumário executivo, constando uma linguagem simples e não técnica.

4.4.2 Análise de inventário do ciclo de vida (ICV)

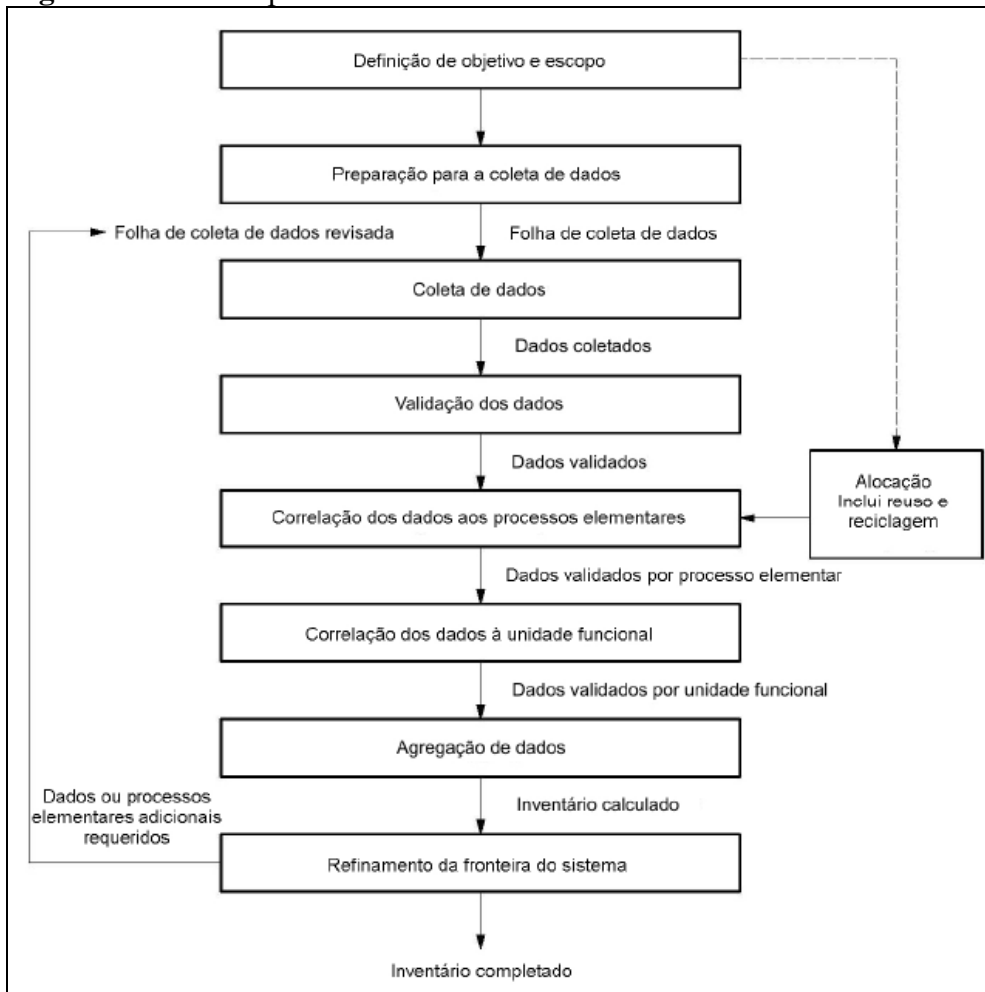
A ICV é uma fase importante, pois gera informações que servirão de *input* para a fase de AICV. A ICV deve estar consistente às definições de escopo e de objetivo, sendo também um *feedback* da fase anterior de definição de objetivo e escopo, pois é devidamente interpolada pela interpretação visando melhorias e ajustes. Tipicamente, as etapas da ICV permeiam a coleta de dados, aquisição e modelagem. Na Figura 10 nota-se a iteratividade dessa fase (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

Os dados são requisitados para os fluxos dos processos (fluxos elementares, de produtos e de resíduos) e outras informações importantes relativas ao sistema em análise. A finalidade da ICV depende primordialmente do tipo da entrega, além de: identificar processos requeridos para o sistema; planejar a coleta de dados e informações, além de fontes secundárias; coletar dados em sistemas que sofrem interferência do sistema em estudo; desenvolver dados genéricos para ICV; coletar dados para os sistemas de base que interferem

⁴ revisão crítica: “processo que visa a assegurar a consistência entre uma avaliação do ciclo de vida e os princípios e requisitos das Normas Brasileiras sobre avaliação do ciclo de vida”. (ABNT, 2009b, p.6)

no sistema em estudo; observar dados entre processos e produtos; modelar o sistema conectando os dados e a unidade funcional; resolver os problemas da multifuncionalidade; e calcular os resultados da ICV (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

Figura 10 – Passos para a ICV



Fonte: ABNT (2009c)

4.4.2.1 Coleta de dados

Haverá a coleta de dados qualitativos e quantitativos, para cada processo elementar dentro das fronteiras do sistema. Para isso é conveniente que haja o conhecimento e a descrição de cada processo elementar estudado, além da realização de folhas e/ou questionários que orientem a obtenção dos dados (ABNT, 2009c).

No que tange aos dados primários e secundários incluídos em um mesmo estudo, é conveniente que haja também a realização de: fluxogramas, descrições de entradas e saídas, desenvolvimento de listas, descrições dos tipos de coletas de dados e disponibilização de instruções para documentar casos especiais e irregularidades (ABNT, 2009c).

4.4.2.2 Validação dos dados

De acordo com ABNT (2009c), a validação dos dados é importante para verificar se a qualidade dos dados é consistente com a aplicação requerida. Dessa forma, como cada processo elementar obedece às leis de conservação de massa e energia, os balanços de massa e energia figuram como recursos úteis para a validação dos dados.

4.4.2.3 Correlação dos dados e agregação

Deve-se definir um fluxo apropriado para cada processo elementar, com base no fluxograma e nessas informações, os fluxos de todos os processos elementares devem ser relacionados ao fluxo de referência. Além disso, é conveniente que os cálculos com todos os dados de entrada e saída sejam referenciados à unidade funcional estabelecida. A agregação deve ser feita apenas quando os dados estiverem relacionados às substâncias equilaventes e a impactos ambientais semelhantes (ABNT, 2009c).

4.4.2.4 Refinamento da fronteira do sistema

Por meio da análise de sensibilidade⁵ pode-se determinar a significância dos dados por meio da aplicação pretendida e delineada. Essa análise permite a exclusão de estágios do ciclo de vida não significativos, exclusão de entradas e saídas ou inclusão de novos processos elementares, devidamente justificados (ABNT, 2009c).

4.4.3 Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV)

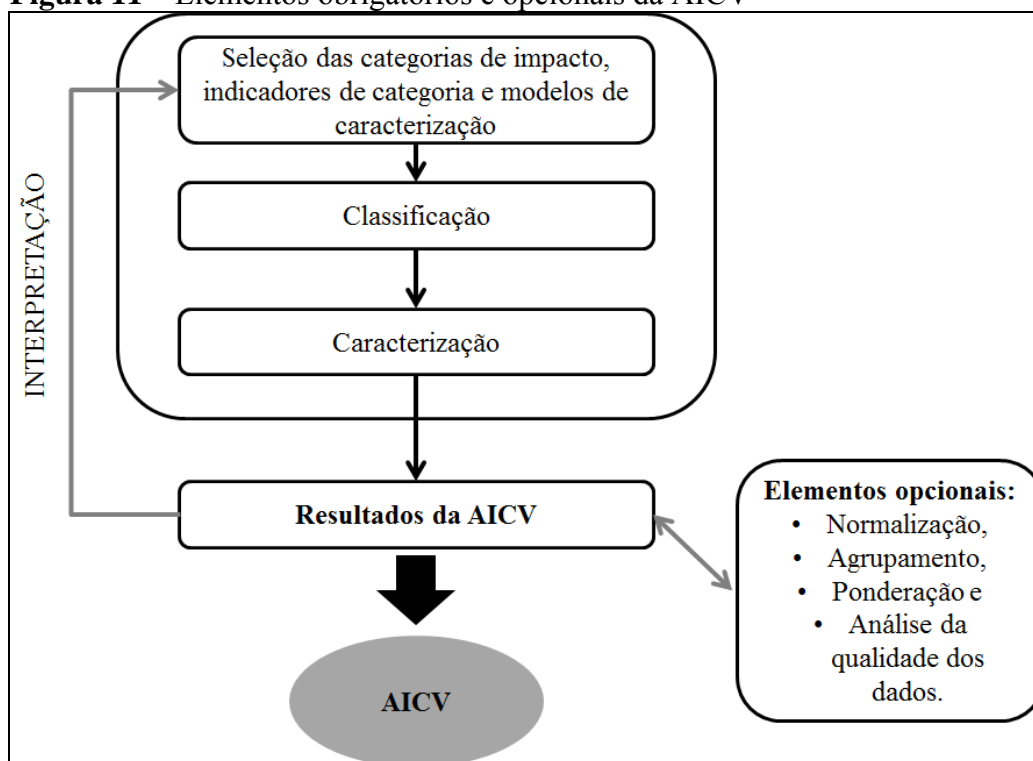
Pode-se dizer que a AICV permite avaliar os resultados da análise do inventário de acordo com a significância dos impactos ambientais potenciais do sistema de produto. Dessa maneira, transforma os dados coletados e relatados na ICV em resultados segundo as categorias de impacto selecionadas (ABNT, 2009c; EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

Essa fase é caracterizada por elementos obrigatórios e opcionais, como denota a Figura 11. Os elementos obrigatórios são: seleção das categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização, classificação e caracterização e os elementos opcionais são: normalização, agrupamento, ponderação e análise da qualidade dos dados. Devido a sua

⁵ análise de sensibilidade: “procedimentos sistemáticos para estimar os efeitos das escolhas feitas em termos de métodos e dados nos resultados de um estudo.” (ABNT, 2009c, p.5)

natureza iterativa, vale salientar que a AICV estará sujeita à interpretação a fim de que os dados sejam suficientes para atenderem aos critérios estabelecidos e definidos pelas etapas anteriores (ABNT, 2009c).

Figura 11 – Elementos obrigatórios e opcionais da AICV



Fonte: adaptado de ABNT (2009c)

4.4.3.1 Seleção das categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização

A seleção de categorias de impacto⁶ implica na escolha de um conjunto abrangente de questões ambientais relacionadas ao sistema de produto e definidas no objetivo e escopo. Os indicadores de categoria⁷ refletem de maneira quantificável os impactos de cada categoria, de acordo com sua relevância ambiental. Os modelos de caracterização implicam na relação entre os resultados da ICV, os indicadores de categoria e, em alguns casos, no ponto final de

⁶ categoria de impacto: “classe que representa as questões ambientais relevantes às quais os resultados da análise do inventário do ciclo de vida podem ser associados”. (ABNT, 2009b, p. 6)

⁷ indicador de categoria: “representação quantificável de uma categoria de impacto”. (ABNT, 2009b, p.6)

categoria⁸. O fator de caracterização⁹ é um parâmetro necessário para converter os resultados da ICV no indicador de categoria. Um exemplo desses conceitos consta no Quadro 2 (ABNT, 2009c).

Quadro 2 – Exemplo dos conceitos

Termo	Exemplo
Categoria de impacto	Mudança climática
Resultado da ICV	Quantidade de gás metano por unidade funcional (kg)
Modelo de caracterização	Modelo da linha de base para 100 anos do Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas (IPCC)
Indicador de categoria	Forçamento radioativo infravermelho (W/m^2)
Fator de caracterização	Potencial de aquecimento global (kg CO ₂ – equivalente/ kg gás)
Resultado do indicador de categoria	kg CO ₂ – equivalente/unidade funcional
Pontos finais da categoria	Recifes de coral, florestas, plantações
Relevância ambiental	O forçamento radioativo infravermelho representa os efeitos potenciais sobre o clima, dependendo da adsorção cumulativa de calor pela atmosfera causada por emissões e da distribuição da adsorção do calor ao longo do tempo

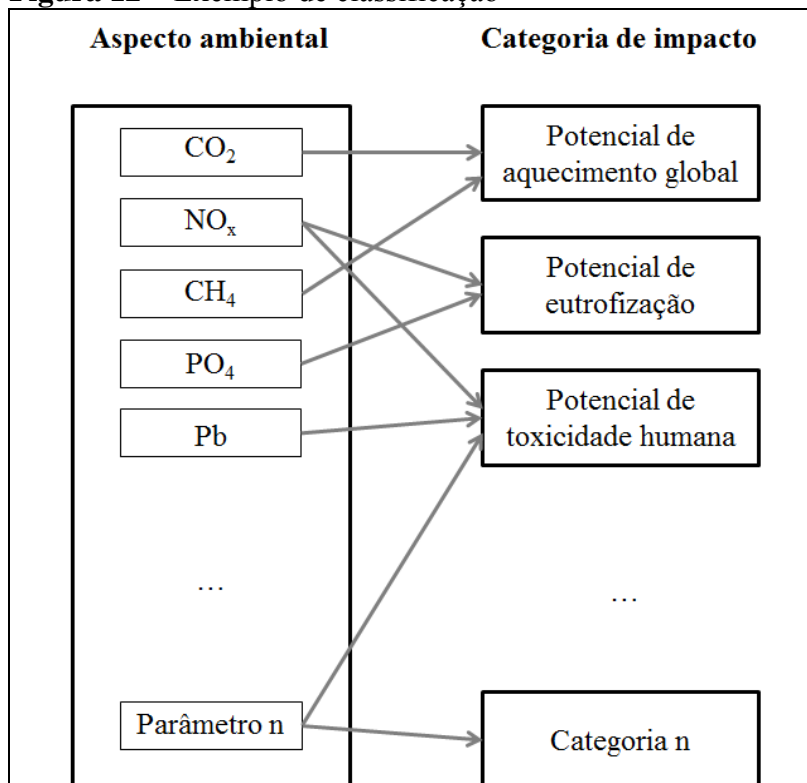
Fonte: adaptado de ABNT (2009c)

4.4.3.2 Classificação

A fase de classificação propõe a correlação entre os resultados da ICV, que permeiam os aspectos ambientais, com as categorias de impacto selecionadas anteriormente. Deve-se atentar para os aspectos que fazem parte de mais de uma categoria de impacto e àqueles que se enquadram exclusivamente em uma única, levando em consideração os critérios estabelecidos quanto aos indicadores de categorias e modelos de caracterização. Pode-se observar um exemplo na Figura 12 (ABNT, 2009c).

⁸ ponto final de categoria: “atributo ou aspecto do ambiente natural, saúde humana ou recurso que identifica uma questão ambiental merecedora de atenção”. (ABNT, 2009b, p.5)

⁹ fator de caracterização: “fator derivado de um modelo de caracterização que é aplicado para converter o resultado da análise do inventário do ciclo de vida na unidade comum do indicador de categoria” (ABNT, 2009b, p.5)

Figura 12 – Exemplo de classificação

Fonte: adaptado de Passuello (2007)

4.4.3.3 Caracterização

Costa (2007) ressalta que cada intervenção ambiental contribui com diferentes intensidades de impactos ambientais, sendo assim, o resultado de contribuições em cada categoria não é a simples soma de quantidades individualizadas. Nesse sentido, mostra-se a necessidade da fase de caracterização.

Essa etapa permeia a análise da contribuição quantitativa de cada aspecto ambiental à sua categoria de impacto, estabelecendo bases comparativas padronizadas, por meio do fator de caracterização, citado anteriormente e exemplificado pelo Quadro 2. No caso em que se observar que a qualidade dos dados não foi suficiente para atingir o objetivo proposto e delineado pelo escopo, sugere-se uma coleta de dados iterativa e/ou um ajuste do objetivo e do escopo (ABNT, 2009c).

4.4.3.4 Normalização

Essa fase é opcional e corresponde ao cálculo da magnitude dos resultados dos indicadores de categorias em relação a um referencial ou uma base de referência. Os resultados normalizados do estudo são obtidos a partir da divisão dos resultados da ICV pela

normalização de base, isso deve ser realizado separadamente por cada categoria de impacto (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

4.4.3.5 Agrupamento

O agrupamento preconiza a aglomeração e/ou hierarquização de categorias de impacto. Ele sugere dois procedimentos possíveis: agrupar as categorias em uma base nominal, como por exemplo, escala global, regional e local ou classificar as categorias de acordo com uma hierarquia, como por exemplo, alta, média e baixa. A aplicação desse método é qualitativa e baseada na subjetividade e, portanto, poderá variar de acordo com o autor e a finalidade do estudo (ABNT, 2009c).

4.4.3.6 Ponderação

A ponderação corresponde ao o processo de conversão dos resultados dos indicadores de diferentes categorias por meio do uso de fatores numéricos baseados na escolha de valores. A decisão do uso ou não desse passo deve estar bem sinalizada no escopo e deve ser precedida pela etapa de normalização anteriormente citada. Para o cálculo desse passo é geralmente realizada a multiplicação dos diferentes resultados da ICV normalizados pelos pesos a eles atribuídos segundo critérios subjetivos. Vale acrescentar que a ponderação não é aplicada em afirmações comparativas¹⁰ a serem divulgadas publicamente (ABNT, 2009c; EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

4.4.3.7 Análise da qualidade dos dados

Essa fase opcional consiste nas técnicas de contribuição, incerteza e de sensibilidade para avaliar a qualidade dos dados. A técnica de contribuição permeia um procedimento estatístico, como exemplo, a análise de Pareto. A técnica de incerteza é um procedimento para identificar as incertezas nos dados e pressupostos. Ao final desta fase, pode-se utilizar a técnica de sensibilidade, que corresponde a um procedimento para avaliar como modificações nos dados e escolhas afetam a AICV (ABNT, 2009c).

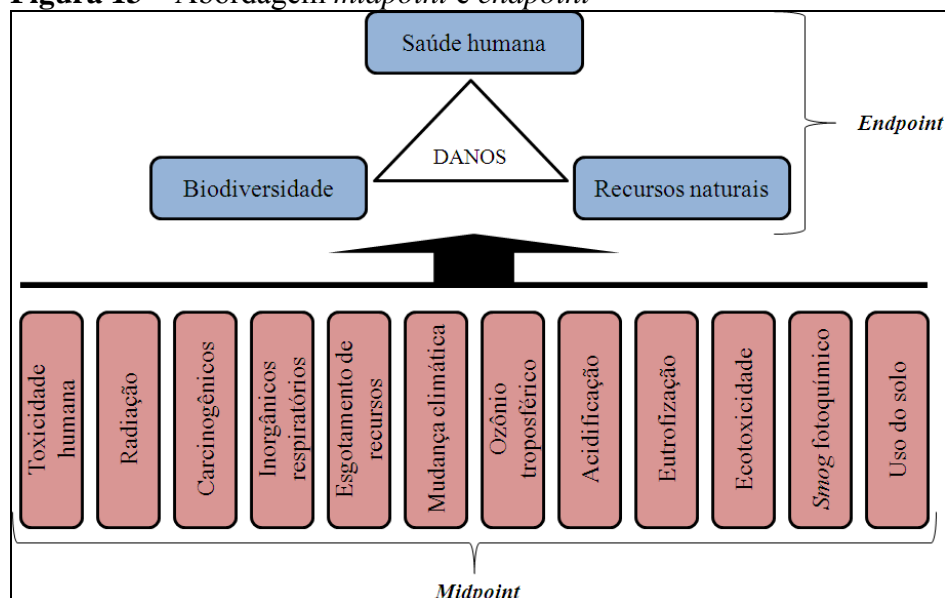
¹⁰ afirmação comparativa: “reivindicação ambiental quanto à superioridade ou equivalência de um produto frente a um produto concorrente que desempenha a mesma função”. (ABNT, 2009b, p.2)

4.4.4 Métodos específicos para AICV

O método de AICV referido pela ABNT pode ser considerado de acordo com Sanches (2011) como uma estrutura genérica adotada internacionalmente. Entretanto, existem vários métodos para a realização da AICV, desenvolvidos em várias partes do mundo e com o intuito de atenderem as especificações de cada local. Segundo Humbert, Margni e Jolliet (2005) esses métodos podem ser classificados entre duas formas, os métodos clássicos e os métodos orientados para os danos, que se diferenciam preponderantemente pelo tipo de abordagem das categorias de impacto selecionadas.

Os métodos clássicos restringem modelos quantitativos para limitar incertezas, classificar e caracterizar os resultados da ICV em categorias de impacto na abordagem *midpoint*. Os métodos orientados para os danos modelam os impactos segundo a abordagem *endpoint*. A abordagem *midpoint* é caracterizada por impactos primários e a *endpoint* por impactos secundários, vide Figura 13. Mouette e Fernandes (1996) definem que os impactos primários ocorrem como consequência direta da intervenção humana e os secundários devido ao desencadeamento de ações e reações (EUROPEAN COMMISSION, 2010a; EUROPEAN COMMISSION, 2010b).

Figura 13 – Abordagem *midpoint* e *endpoint*



Fonte: adaptado de European Commission (2010a)

A fim de ilustrar alguns métodos de AICV, foi construído o Quadro 3 a seguir. Dentre eles destaca-se o EDIP (Environmental Development of Industrial Products), de acordo com

Wenzel, Hauschild e Alting (1997). O EDIP foi desenvolvido em quatro anos com a cooperação entre o Instituto de Desenvolvimento de Produto (IPL), a Universidade Técnica da Dinamarca (DTU), a Confederação das Indústrias Dinamarquesas, a agência de proteção ambiental dinamarquesa, o Ministério do Meio Ambiente da Dinamarca e cinco indústrias dinamarquesas. Esse método é científica e tecnicamente comprovado, além de ser internacionalmente aceito, sendo o método de referência do Ministério do Meio Ambiente da Dinamarca, reconhecido pelos profissionais de ACV de todo o mundo (OMETTO, 2005).

Quadro 3 – Relação de alguns métodos de AICV

Método	Origem	Abordagem
CML 2001	Holanda	<i>Midpoint</i>
E-I 99	Holanda	<i>Endpoint</i>
EDIP1997	Dinamarca	<i>Midpoint</i>
EDIP2003	Dinamarca	<i>Midpoint</i>
EPS2000d	Suécia	<i>Endpoint</i>
IMPACT2002+	Suíça	<i>Midpoint</i>
TRACI	Estados Unidos	<i>Midpoint</i>
LIME	Japão	<i>Midpoint e Endpoint</i>
LUCAS	Canadá	<i>Midpoint</i>
SALCA	África do Sul	<i>Midpoint</i>

Fonte: adaptado de Sousa (2008)

Pode-se observar que a maioria dessas metodologias está inserida no contexto europeu, não existindo uma específica para o Brasil. Segundo Bueno et al. (2012) a metodologia EDIP apresenta validade global para todos os impactos em sua primeira versão de 1997. Na versão de 2003, a maioria das categorias se apresenta com aplicabilidade direcionada à Europa, mostrando regionalização da AICV. Dessa forma, os mesmos autores afirmam que o EDIP 1997 é um bom exemplo a ser seguido para o contexto brasileiro, pois esta metodologia sofreu uma transformação na abrangência de aplicação de suas categorias de impacto de global para regional.

Para o presente trabalho, devido à aplicabilidade, validade científica e abordagem global, a metodologia selecionada foi o EDIP 1997 (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 1997). Entretanto ressalta-se a importância da criação de uma metodologia predominantemente brasileira para promover um cenário mais regionalizado do país e atender as demandas existentes.

- **EDIP 1997**

O método EDIP (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 1997) possui diversas categorias de impacto, citadas a seguir: aquecimento global; depleção de ozônio estratosférico, formação fotoquímica de ozônio; acidificação; eutrofização; ecotoxicidade; toxicidade humana; e resíduos.

Como estas categorias de impacto se remetem à sua escala geográfica, convém diferenciá-las em escalas de abrangência: local, regional ou global. Wenzel, Hauschild e Alting (1997) citam que a aplicação local é aquela em que os efeitos dos impactos ambientais ocorrem sobre fontes individuais significativas, limitados à vizinhança imediata.

A regional causa efeito em uma área com raio de 100 a 1000 km e também dependerá da fragilidade e/ou potencialidade do meio ambiente. A global é aquela em que os efeitos perfazem todo o planeta. Dessa forma, no Quadro 4 encontram-se as categorias de impacto selecionadas para o presente estudo.

Quadro 4 – Enquadramento da escala geográfica nas categorias de impacto

Categoria de impacto	Escala geográfica		
	<i>Local</i>	<i>Regional</i>	<i>Global</i>
Aquecimento Global			X
Formação fotoquímica de Ozônio	X	X	
Acidificação	X	X	
Eutrofização	X	X	
Ecotoxicidade	X	X	
Toxicidade humana	X	X	
Resíduos	X	X	

Fonte: Wenzel, Hauschild e Alting (1997)

Vale salientar que o presente estudo também incluiu as seguintes categorias: Consumo de recursos energéticos e Consumo de recursos materiais. Essas categorias são muito importantes para o tema em estudo devido ao grande impacto ambiental que exercem. Ambas enquadram-se em impactos regionais/globais, já que o consumo de diesel e de demais materiais afetam a disponibilidade global desses recursos. A criação de novas categorias de impacto está prevista no método EDIP, que orienta a descrição e justificação das mesmas.

A seguir, serão descritos os aspectos de cada categoria selecionada.

- **Aquecimento Global**

Segundo Wenzel, Hauschild e Alting (1997) a atmosfera terrestre absorve parte da energia emitida como radiação infravermelha e isso provoca o seu aquecimento. Esse efeito pode ser considerado natural e é o responsável pela manutenção da vida no planeta.

Entretanto, na medida em que as atividades antrópicas possibilitaram a emissão acentuada de gases de efeito estufa, esse efeito agrava-se e traz o aumento da temperatura média global e demais variações climáticas repentinas.

Dentre alguns desses gases de efeito estufa (GEEs), estão (STRANDDORF; HOFFMANN; SCHMIDT, 2003): dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), clorofluorcarbonos (CFCs), hidroclorofluorcarbonos (HCFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs), halogênios associados a cadeias carbônicas, tetraclorometano (CCl_4), 1,1,1-tricloroetano (CCl_3CH_3) e monóxido de carbono (CO). Salienta-se que o CO_2 e o CH_4 contribuem com mais de 80% com o aquecimento global.

O aquecimento global é considerado um impacto global e o resultado da ICV deve ser expresso em termos de dióxido de carbono equivalente (CO_2 eq), correspondendo ao fator de caracterização da categoria (OMETTO, 2005).

- **Formação fotoquímica de ozônio**

Quando solventes e outros componentes orgânicos voláteis são emitidos para a atmosfera e geralmente são degradados em poucos dias por meio de sua oxidação. Na presença de óxidos de nitrogênio (NO_x), essa reação pode resultar na formação de ozônio (O_3) e é denominada por formação fotoquímica de ozônio por ocorrer com o auxílio da luz solar. O O_3 é um gás benéfico na estratosfera por proteger a terra da radiação ultravioleta (UV), entretanto, na troposfera pode causar muitos problemas aos seres vivos (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 1997).

Essa categoria de impacto enquadra-se na escala regional/local foi escolhida por ser resultante da combustão incompleta de combustíveis fósseis. O fator de caracterização perfaz o eteno (C_2H_2), representando o potencial de formação fotoquímica de ozônio que seria causado pelo eteno (OMETTO, 2005). O método EDIP divide essa categoria em duas: alto NO_x e baixo NO_x . No presente estudo adotou-se os valores para alto NO_x .

- **Acidificação**

Quando compostos podem ser emitidos e convertidos em ácidos na atmosfera, devido ao ciclo hidrológico, estes poderão ser depositados novamente na água e no solo, ocasionando baixa de pH e favorecendo a acidificação do meio. Como consequência poderá ocorrer o desaparecimento de florestas, declínio da população de peixes, corrosão de monumentos arquitetônicos, entre outros (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 1997).

Essa categoria enquadra-se na escala regional/local e está atrelada ao estudo pelos compostos potenciais de geração da acidificação também serem resultantes da queima incompleta de combustíveis fósseis. O fator de caracterização perfaz o dióxido de enxofre (SO₂).

- **Eutrofização**

A eutrofização é o enriquecimento de nutrientes na água ou no solo principalmente por compostos de fósforo e nitrogênio. Ela impacta os ecossistemas, preferencialmente os ambientes aquáticos, pois a diminuição da concentração de oxigênio nas águas, devido à decomposição desses nutrientes, poderá levar a extinção de peixes e demais organismos. O fator de caracterização utilizado no EDIP 1997 é kg NO₃-eq (SILVA, 2012).

- **Ecotoxicidade**

As atividades antrópicas podem emitir substâncias químicas que contribuem para a ecotoxicidade se elas alterarem a estrutura dos ecossistemas e causarem efeitos tóxicos nos organismos vivos. A ecotoxicidade é uma categoria de impacto regional/local e está inserida no contexto devido à emissão de substâncias como hidrocarbonetos, metais, poluentes orgânicos persistentes (POPs), etc no ciclo de vida da brita.

O fator de caracterização permeia o volume do compartimento ambiental afetado (água ou solo) necessário para neutralizar ou diluir a substância tóxica a fim de que seus efeitos não causem danos toxicológicos (OMETTO, 2005; WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 1997).

- **Toxicidade humana**

Especificamente para a toxicidade humana avalia-se a contribuição das substâncias químicas ocasionadas pelas atividades antrópicas via exposição do ser humano ao meio. A toxicidade humana é uma categoria de impacto regional/local e insere-se pelo ciclo de vida da brita emitir substâncias que podem influenciar negativamente a saúde humana. Como ocorre semelhantemente à categoria anterior, o fator de caracterização corresponde ao volume do compartimento ambiental afetado (ar, água ou solo) necessário para neutralizar ou diluir a substância tóxica a fim de que seus efeitos não causem danos ao homem (OMETTO, 2005; WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 1997).

- **Resíduos**

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) no texto da lei, já inclui o conceito de ciclo de vida em suas definições iniciais, tendo em vista a importante relação entre a destinação final dos produtos e seus processos de obtenção. Dessa forma, define-se também o conceito de resíduos sólidos:

material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.
(BRASIL, 2010, p.2)

Segundo Brasil (2010), os resíduos provenientes da ACV da brita são classificados, quanto sua origem, em dois tipos: resíduos de mineração e resíduos da construção civil. O primeiro tipo refere-se àqueles gerados na extração e beneficiamento da brita, que nesse estudo estará restrito ao pó de brita. E o segundo refere-se à brita propriamente dita pós uso nas construções, reformas, reparos e demolições.

O método EDIP (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 1997) indica que os resíduos devem ser classificados em: resíduos sólidos, resíduos perigosos, resíduos radioativos e resíduos de incinerações (cinzas e escórias). O método não cita fatores de caracterização a essa categoria, mas descreve alguns parâmetros para normalização e ponderação.

- **Consumo de recursos energéticos**

Essa categoria foi dividida em duas: Consumo de recursos energéticos renováveis e Consumo de recursos energéticos não renováveis. O fator de caracterização utilizado é a quantidade de energia em kWh.

- **Consumo de recursos materiais**

Essa categoria foi dividida em duas: Consumo de recursos materiais renováveis e Consumo de recursos materiais não renováveis. O fator de caracterização utilizado é a quantidade de material em kg.

4.4.5 Interpretação do ciclo de vida

Essa fase inclui alguns elementos, como a identificação de questões significativas com bases nos resultados das fases de ICV, AICV da ACV, a avaliação do estudo perante a verificação de completeza¹¹, sensibilidade¹² e consistência¹³ (ABNT, 2009c). A interpretação interage com as outras três fases da ACV, como pode ser observado na Figura 8. Portanto, se os resultados pretendidos da ICV ou da AICV não alcançarem os requisitos do objetivo e escopo, deverão ser realizadas ações que alterem as fronteiras do sistema, proporcionem nova coleta de dados, e abranjam outra metodologia para a AICV. Segundo Jensen et al. (1997) esse processo iterativo se repetirá até que se alcance os requisitos propostos, ou seja, o item 3:

- 1) Identificar as questões ambientais significativas;
 - 2) Avaliar a metodologia e os resultados, de acordo com a integridade, sensibilidade e consistência;
 - 3) Verificar se as conclusões estão consistentes com os requisitos do objetivo e escopo do estudo, incluindo em particular, os requisitos de qualidade dos dados, a predefinição de valores e os requisitos das aplicações;
 - 4) Se o item anterior for concluído, o estudo está finalizado, se não, retornar aos itens 1 e 2.
- (JENSEN et al., 1997, p.70)

De acordo com European Commission (2010a) a fase de interpretação possui dois objetivos fundamentais, bem distintos. O primeiro denota que a interpretação é realizada na medida em que as fases iterativas da ACV se desenvolvem, com o intuito de alinhar o objetivo com os resultados da ICV e AICV. O segundo refere-se ao resultado final, em que a interpretação é aplicada para promover conclusões mais robustas e recomendações, principalmente no caso de afirmações comparativas que serão disponibilizadas ao público.

¹¹ verificação de completeza: “processo para verificar se as informações derivadas das fases precedentes de uma avaliação do ciclo de vida são suficientes para se chegar a conclusões de acordo com a definição do objetivo e escopo”. (ABNT, 2009b, p.6)

¹² verificação de sensibilidade: “processo para verificar se as informações obtidas através de uma análise de sensibilidade são relevantes para se chegar às conclusões e emitir recomendações”. (ABNT, 2009b, p.6)

¹³ verificação de consistência: “processo para verificar, antes de se consolidarem as conclusões do estudo, se os pressupostos, métodos e dados são aplicados de forma consistente ao longo do estudo e se estão de acordo com a definição do objetivo e do escopo”. (ABNT, 2009b, p.6)

5 METODOLOGIA APLICADA AO ESTUDO

A metodologia aplicada no presente trabalho foi desenvolvida obedecendo às recomendações das normas brasileiras que regulamentam a ACV, nas suas quatro fases.

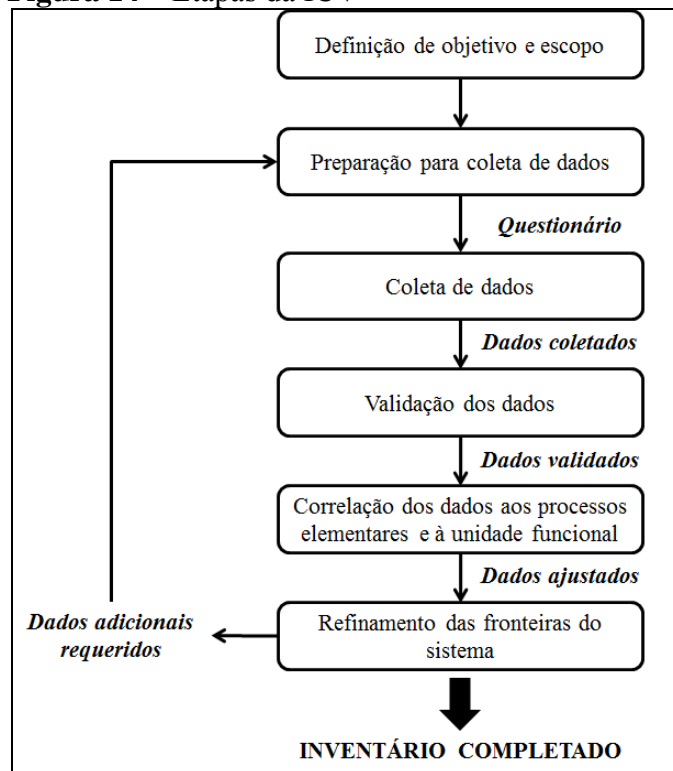
5.1 Definição de objetivo e escopo

Inicialmente foi realizado um plano de trabalho contendo as especificações iniciais do estudo, as principais recomendações, os pressupostos e as aplicações pretendidas. No desenvolvimento do presente estudo, esses aspectos iniciais de objetivo e escopo foram sendo alterados. Também nessa fase de planejamento foi realizado um cronograma de estudo e planejada uma visita técnica a uma mineradora de brita.

Além disso, foi criado um banco de dados que consta de artigos científicos, teses, dissertações e demais publicações que tratam sobre o tema a fim de estabelecer bases para a revisão bibliográfica da ACV. Sendo assim, buscou-se o conhecimento do sistema de produto analisado e a descrição de cada processo elementar dentro das fronteiras do sistema estabelecidas. Foi discutida e definida a metodologia específica para a AICV e demais critérios que orientaram a coleta de dados da ICV. Foi definida também a unidade funcional e posterior bases de cálculos, valores de referência, categorias de impacto e demais considerações para a AICV.

5.2 ICV

A ICV foi realizada conforme a Figura 14. Inicialmente deu-se a preparação para a coleta de dados que correspondeu à formulação de um questionário, constante no Apêndice A que contemplou um universo amplo de dados, desde quantidade de combustível utilizada nos caminhões até dados referentes à geologia do local.

Figura 14 – Etapas da ICV

Fonte: adaptado de ABNT (2009c)

Após isso realizou-se a coleta de dados propriamente dita, por meio de uma visita técnica junto a uma mineradora no município de Limeira – SP, na qual foi aplicado o questionário elaborado, realizou-se um acervo fotográfico e entrevistas com os profissionais da área.

Realizou-se a partir disso, validação dos dados que consistiu em separar os dados realmente necessários ao estudo dos demais dados. De acordo com ABNT (2009c), é importante para verificar se a qualidade dos dados é consistente com a aplicação requerida.

A etapa de correlação dos dados permitiu que os dados fossem ajustados na unidade dimensional comum de kg de substância por m² de edificação no que diz respeito à unidade funcional estabelecida. Todos esses cálculos foram realizados por meio do *software Microsoft Excel 2010*.

Os dados brutos, provenientes de diferentes unidades dimensionais foram traduzidos primeiramente em quantidade de substância por m³ de brita. Após isso, os dados foram ajustados para o equivalente em m³ de concreto e multiplicados pela quantidade total de concreto do edifício, obtendo assim a quantidade total de cada substância utilizada para a construção da edificação.

Por fim, para que os dados fossem ajustados na unidade funcional estabelecida, foi necessário dividir esses valores pela quantidade total de brita utilizada no edifício e multiplicar pela taxa de consumo estabelecida de brita por m² de edificação, para exemplificar o disposto, encontra-se em anexo o Apêndice B.

Aplicou-se também a fase de Interpretação, que permeou toda a ACV. Assim a verificação de sensibilidade das entradas e saídas, permitiu a exclusão de um estágio do ciclo de vida não significativo e a inclusão de dados referentes aos processos de beneficiamento que não foram contemplados na visita técnica por necessitarem de maiores especificações técnicas.

Dessa forma notou-se a necessidade de incrementação e aquisição de novos dados, a fim de suprir necessidades não identificadas inicialmente. Para isso, o contato com os profissionais da mineradora via *e-mail* e telefone foi essencial para suprimir essas necessidades e completar o estudo, pois foram enviadas planilhas de gastos com diesel, óleos lubrificantes, fluxogramas do processo de beneficiamento, entre outros dados. Esse processo iterativo permite atingir a qualidade e quantidade de dados desejados e inseridos na finalidade do estudo. Após todas essas definições e cálculos, o inventário foi finalizado.

5.3 AICV

Primeiramente foi realizado um quadro que exemplifica qualitativamente os impactos ambientais associados ao ciclo de vida da brita. Esse quadro foi realizado com o auxílio da revisão bibliográfica e visitas técnicas a outras minerações de brita, com o intuito de elencar os principais aspectos relevantes à extração, uso e disposição final desse material.

Foram realizados todos os elementos obrigatórios da AICV quais sejam: seleção das categorias de impacto, classificação e caracterização. Inicialmente, após a realização da ICV, as categorias de impacto foram ampliadas devido à grande quantidade de dados obtida. Para critérios relevantes obtidos no estudo, foi adicionada a categoria de Consumo de recursos energéticos (renováveis e não renováveis), que não consta no EDIP 1997, porém é muito importante para a presente ACV. A categoria de recursos energéticos renováveis indicou todos aqueles conseguidos por meio de usinas hidrelétricas, biomassa da cana e biomassa tradicional e outras renováveis, como eólicas e solares.

E a categoria de recursos energéticos não renováveis correspondeu àqueles obtidos por usinas movidas a petróleo, gás natural, carvão mineral e urânio. O *mix* energético adotado

para a geração de energia elétrica foi de 88,8% proveniente de fontes renováveis e 11,2% de fontes não renováveis (BRASIL, 2012).

Vale salientar que a categoria de Consumo de recursos materiais foi subdividida em: Consumo de recursos materiais renováveis, correspondente ao consumo de água e Consumo de recursos materiais não renováveis, correspondentes ao consumo de basalto, aditivos, óleos e diesel.

Sendo assim, as categorias de impacto selecionadas foram: Eutrofização; Formação de ozônio fotoquímico; Consumo de recursos energéticos não renováveis; Consumo de recursos energéticos renováveis; Consumo de recursos materiais renováveis; Consumo de recursos materiais não renováveis; Aquecimento global; Toxicidade humana (ar); Toxicidade humana (água); Toxicidade humana (solo); Ecotoxicidade aguda (água); Ecotoxicidade crônica (água); Ecotoxicidade crônica (solo); Acidificação; Resíduos perigosos e Resíduos de construção civil. Cada substância constante no ICV foi classificada em uma dessas categorias, como consta no Apêndice C.

Por meio do método EDIP 1997, foram obtidos os fatores de caracterização de cada categoria de impacto, que também está apresentado no Apêndice C. Esses valores estavam representados em termos das unidades das categorias de impacto por quantidade da substância, ou seja, para a obtenção dos valores de caracterização foi necessário dividir os resultados da ICV pelos fatores de caracterização mencionados.

Dentre os elementos opcionais foi realizada apenas a normalização para se estabelecer critérios comuns para a comparação entre as categorias. Para isso, os valores de cada categoria (exceto as categorias de Consumo de recursos materiais e Consumo de recursos energéticos, por não possuírem valores de normalização) foram divididos pelos valores de normalização constantes no EDIP 1997. Após a realização desse elemento opcional foram hierarquizadas as etapas críticas do ciclo de vida da brita e demais análises específicas das categorias de impacto importantes.

As etapas críticas foram selecionadas por meio da realização de um diagrama de Pareto. Nesse diagrama optou-se por considerar as categorias de impactos que se encaixam no Princípio de Pareto que rege o diagrama, sendo que 80% das consequências advêm de 20% das causas. Dessa maneira, foram selecionadas as categorias de impacto e foram identificadas as etapas críticas em que elas possuem os maiores valores quantitativos.

Como o método EDIP não contempla todas as categorias foram realizadas também algumas análises específicas sobre o consumo de recursos materiais, recursos energéticos e

resíduos. E também análises especiais que contemplaram a realização de gráficos sobre o consumo de diesel, água e emissão de gases.

Por fim, fez-se também a extrapolação dos resultados que consistiu na obtenção da emissão de gás carbônico para um novo edifício-exemplo, com o mesmo padrão da unidade funcional. Essa extrapolação serve de base para a utilização desses dados em qualquer tipo de edifício, respeitando o mesmo padrão, apenas variando a quantidade de pavimentos e área construída.

5.4 Interpretação

Essa fase que permeou todo o estudo foi essencial e caracterizada pelas verificações de: completeza, sensibilidade e consistência. Essa fase, juntamente com as anteriores possibilitou as considerações finais do estudo e as recomendações para trabalhos futuros, sendo condizentes com os objetivos propostos.

Segundo a ABNT (2009c), a verificação de completeza “busca assegurar que todas as informações e dados requeridos de todas as fases foram utilizados e estão disponíveis para a interpretação”. Dessa maneira, essa informação pode ser um valor empírico, para assegurar que nenhuma informação importante tenha sido esquecida. A norma sugere a utilização de listas de verificação para avaliar se todos os parâmetros do inventário, como emissões, energia, recursos, resíduos, etc., foram atendidos.

A verificação de sensibilidade “busca determinar a influência de variações nos pressupostos” (ABNT, 2009c). Dessa forma, essa análise pode ser muito bem considerada no critério de corte utilizado e influenciará os parâmetros adotados. Essa verificação foi realizada para alguns parâmetros e consta nos resultados.

A verificação da consistência busca “determinar se os pressupostos, métodos, modelos e dados são consistentes ao longo do ciclo de vida de um produto ou entre diversas opções”. Em relação ao presente estudo, considerou-se o método EDIP 1997, como consta na justificativa possui uma abordagem mais ampla e é comumente utilizado na comunidade acadêmica.

Conseqüentemente, os modelos utilizados são cientificamente aceitos e toda a base matemática está descrita em Wenzel, Hauschild e Alting (1997). Os principais dados utilizados, como descritos anteriormente, são primários e condizentes com a realidade brasileira. Entretanto, para a quantificação de alguns indicadores foram utilizados dados secundários, como valores de referência, de fontes secundárias internacionais e literatura

científica. Vê-se dessa maneira, a necessidade da realização de uma base de dados nacional, condizentes com a realidade local e que possa auxiliar no desenvolvimento de novas pesquisas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da aplicação da metodologia no presente estudo da ACV da brita foi possível obter os resultados, os quais estão concatenados nos seguintes itens: Definição de objetivo e escopo, ICV, AICV e Interpretação.

6.1 Definição de objetivo e escopo

Nesse item foram tratados o objetivo e escopo do estudo da ACV da brita.

6.1.1 Objetivo

O propósito do estudo é o desenvolvimento de informações científicas acerca da brita para ser aplicada em estudos que visem a sustentabilidade desse material. A principal razão para a realização do estudo é a verificação de impactos ambientais desde a extração da matéria-prima até a disposição final do produto, denotada por grandes modificações e degradações do meio ambiente. O estudo é classificado como ACV não comparativa e o público alvo é a comunidade acadêmica e demais interessados no setor da construção civil.

6.1.2 Escopo

De acordo com European Commission (2010a) o escopo foi dividido nas seções que se seguem.

- **Função**

A brita serve como material de suporte e enchimento do concreto com a função principal de dar volume e resistência ao mesmo.

- **Unidade funcional**

A unidade funcional definida foi a de um edifício padrão multifamiliar R8 - B (Padrão baixo), composto por um pavimento térreo e sete pavimentos tipo e cujas demais

especificações constam na norma ABNT (2005). Os cálculos se restringiram ao projeto estrutural do edifício, cuja resistência do concreto definida foi de 25 MPa.

- **Fluxo de referência**

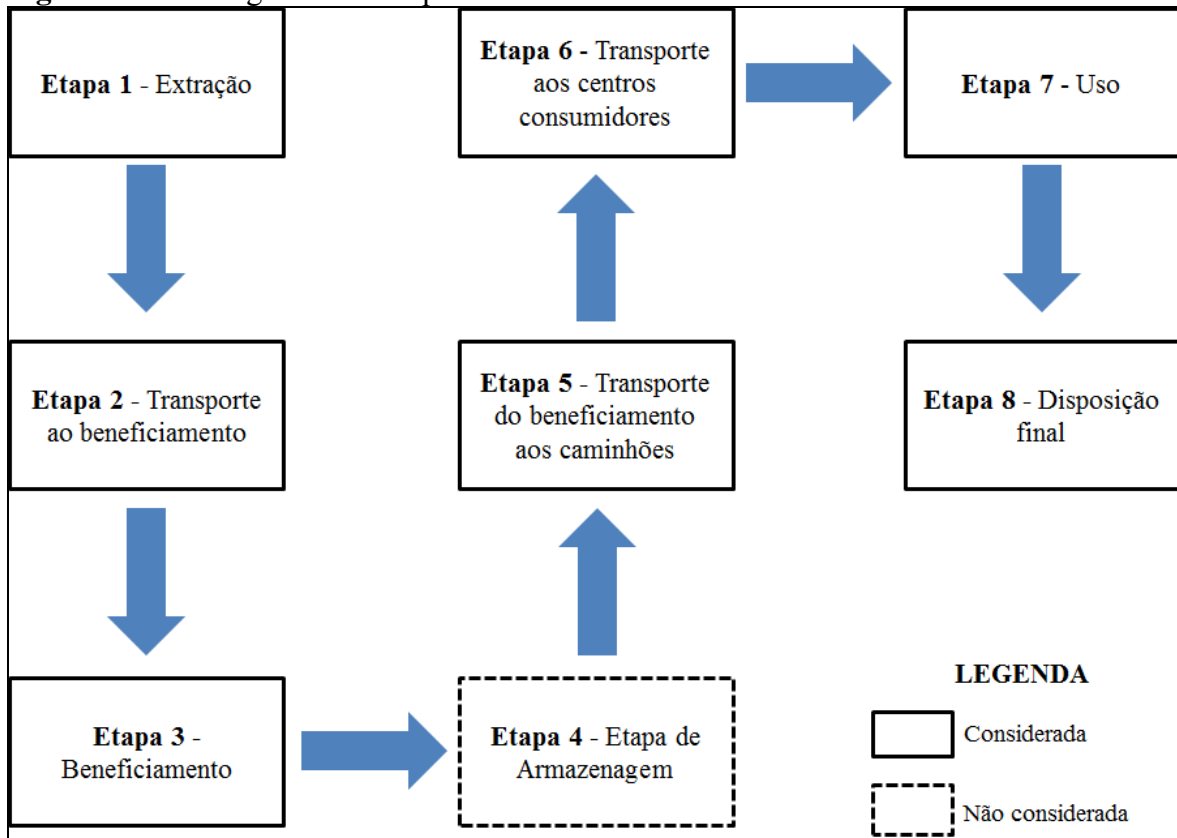
Por meio da unidade funcional, foi definida também a quantidade total de brita utilizada que é de 394,09 m³ sendo constante a taxa de 0,19 m³ de brita por m² de edificação. A especificação da brita é correspondente à zona granulométrica 9,5/25 (ABNT, 2009a), ou comercialmente denominada por brita 1 (ABNT, 1993).

Além disso, adotou-se que para cada m³ de concreto utilizou-se 0,8360 m³ de brita (TCPO, 2003). A quantidade total de concreto utilizada para a construção da unidade funcional foi de 471,4 m³, cuja massa específica adotada foi de 2379,85 kg/m³ (BESSA, 2011). O parâmetro adotado de consumo de concreto em m³ por m² de construção foi de 0,23 m³/m² de edificação.

Dessa forma, o fluxo de referência adotado foi definido por: quantidade da substância em kg por m² de edificação.

- **Sistema de produto**

O sistema de produto analisado permeia as seguintes etapas: extração, beneficiamento, armazenagem, transporte, uso e disposição final. Vale acrescentar que na etapa de armazenagem (Etapa 4) não foi considerado nenhum fluxo de entrada e de saída, pois é uma etapa temporária. As seis primeiras etapas foram verificadas em campo por meio de uma visita técnica realizada no dia 20 de junho de 2012, junto a uma mineradora no município de Limeira – SP. Para orientar a obtenção de dados foi aplicado um questionário, que consta no Apêndice A. O fluxograma do sistema de produto pode ser visto na Figura 15.

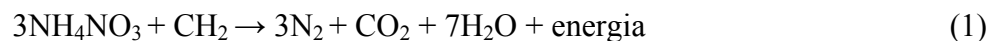
Figura 15 – Fluxograma das etapas*Etapa 1 - Extração*

Na etapa de extração a brita é extraída a céu aberto por meio do desmonte por explosivos, Figura 16. De acordo com Ferreira, Daitx e Dallora Neto (2006), esse tipo de desmonte pode gerar além de poeira e materiais particulados, gases que incluem o CO₂, N₂, vapor d'água e alguns gases tóxicos, como o CO e o NOx. Esses gases tóxicos são gerados quando há uma dosagem inadequada dos explosivos.

Figura 16 – Extração a céu aberto



O tipo de explosivo utilizado é por emulsão, conhecido comercialmente como ANFO, do inglês *ammonium nitrate e fuel oil*, ou seja, uma mistura de nitrato de amônio (NH_4NO_3) e um combustível adequado (CH_2) (BRITANITE, 2010). A seguir, tem-se a Equação 1, que representa a decomposição do ANFO em um sistema equilibrado em oxigênio (TORRES; GAMA, 2005):



Dados da mineradora indicam que para cada m^3 de brita extraída são necessários cerca de 700 g de explosivos. Para haver a colocação do explosivo, há a utilização de uma perfuratriz (PW 5000), movida por um compressor (CPB101) como indica a Figura 17, que consome aproximadamente 35,12 L/h de diesel. Vale destacar que todo o diesel consumido pela empresa é do tipo S500 e os dados referentes às propriedades do diesel foram obtidos por Braun, Appel e Schmal (2003), Castellaneli et al. (2008) e Longhi et al. (2004).

Figura 17 – Detalhe da perfuratriz e do compressor



É importante destacar que os impactos visuais e de modificação do uso do solo relativos à extração e o passivo ambiental referente à cava não foram contemplados no presente estudo, nem inseridos nas categorias de impacto constantes no método de avaliação utilizado.

Etapa 2 - Transporte da extração ao beneficiamento

Para transportar o material da jazida ao beneficiamento, há a utilização de escavadeiras, consumindo 9,07 L/h de diesel, que transferem o material para caminhões 6x4, consumindo 1,07 km/L, como ilustra a Figura 18. Os caminhões percorrem cerca de 1 km até o beneficiamento. Outro aspecto importante é que há a geração de poeiras devido a movimentação dos veículos, para isso, é necessário aproximadamente 60.000 L de água por dia para a nebulização das vias, essa água é proveniente de caminhões pipa.

De acordo com a mineradora estudada a distância média percorrida pelos caminhões da extração ao beneficiamento é de 1km. Vale notar também que o material particulado proveniente dessa movimentação dos veículos não foi contemplado no estudo, por não ter sido quantificado.

Figura 18 – Transporte ao beneficiamento

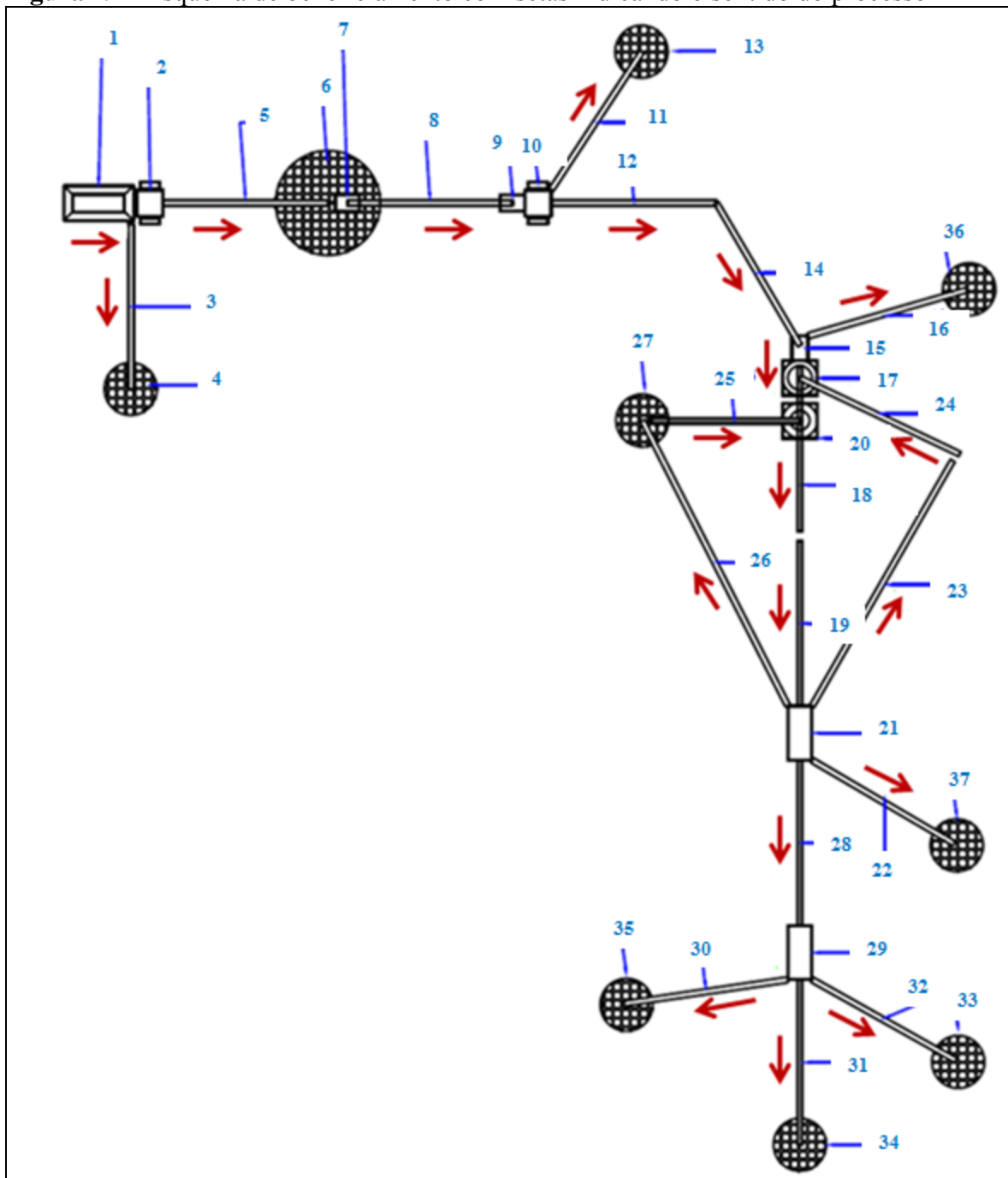


Etapa 3 - Beneficiamento

A etapa de beneficiamento corresponde à adequação granulométrica do basalto nas faixas comerciais desejadas. Para isso há vários processos de peneiramento e fragmentação da rocha também conhecida por britagem. No presente estudo todos os equipamentos são movidos à energia elétrica e há consumo de água no processo da ordem de 10.000 litros por dia. Vale salientar que as perdas materiais da brita no processo que correspondem à eficiência do mesmo não foram consideradas.

Na Figura 19 e no Quadro 5 estão descritos e tipificados os equipamentos adotados nesse processo. Os dados das propriedades dos óleos lubrificantes foram obtidos por Petrobras (2013a, 2013b, 2013c e 2013d) e West Chemical (2013), sendo que não foi considerado a combustão desses óleos, por ser um maquinário relativamente recente e passível de manutenção.

Figura 19 – Esquema de beneficiamento com setas indicando o sentido do processo



Quadro 5 – Lista dos equipamentos do beneficiamento

Item	Equipamento	Código
01	Alimentador	EBB037
02	Britador primário de mandíbula	EBB409
03	Correia transportadora TC00	TC00
04	Material	Refugo
05	Correia transportadora TC1	TC01
06	Material	Pedra rachão n.1
07	Calha vibratória	EBB161
08	Correia transportadora TC2	TC02
09	Grelha	EBB243
10	Britador secundário	EBB002
11	Correia transportadora TC3	TC03
12	Correia transportadora TC4	TC04
13	Material	Rachão classificado
14	Correia transportadora TC5	TC05
15	Peneira vibratória	EBB124
16	Correia transportadora TC6	TC06
17	Britador	EBB174
18	Correia transportadora TC7	TC07
19	Correia transportadora TC8	TC08
20	Britador Renco	EBB163
21	Peneira vibratória	EBB356
22	Correia transportadora TC9	TC09
23	Correia transportadora TC10	TC11
24	Correia transportadora TC11	TC10
25	Correia transportadora TC12	TC12
26	Correia transportadora TC13	TC13
27	Material	Brita n.3
28	Correia transportadora TC14	TC14
29	Peneira vibratória	EBB057
30	Correia transportadora TC15	TC15
31	Correia transportadora TC16	TC16
32	Correia transportadora TC17	TC17
33	Material	Brita n.1
34	Material	Pedrisco
35	Material	Pó de pedra
36	Material	Bica corrida
37	Material	Brita n.2

Após ser transportada pelos caminhões, a brita passa ao processo de beneficiamento, que se inicia no alimentador (item 01 do Quadro 5, Figura 20) passando ao britador de mandíbula (item 02 do Quadro 5, Figura 21).

Figura 20 – Detalhe do caminhão descarregando o material no início do processo de beneficiamento



Figura 21 – Britador primário com detalhe do uso de água



Como visto anteriormente, a pedra passará por sucessivos estágios de fragmentação, peneiramento e transporte por correias, Figura 22, até que se atinja a granulometria almejada, como visto na Figura 23.

Figura 22 – Correia transportadora T04



Figura 23 – Detalhes das pilhas de diferentes granulometrias



Foi quantificado todo o consumo em kWh de energia nessa etapa, considerando os dados da mineradora estudada e suas correções quanto à unidade funcional adotada.

Etapa 4 - Armazenagem

Nessa etapa a brita é armazenada temporariamente, em pilhas a céu aberto e não há utilização de materiais ou energia, Figura 24.

Figura 24 – Pilha de armazenamento



Nota-se na Figura 24 a emissão de material particulado, denotado pela poeira. A quantificação desse material particulado pode ser objeto de futuras pesquisas relacionadas aos seus impactos.

Etapa 5 - Transporte do beneficiamento aos caminhões

Após o armazenamento temporário, a brita é transportada por meio de pás carregadeiras (Figura 25), que consomem 10,1 L/h de diesel, aos caminhões que levarão o produto ao consumidor final.

Figura 25 – Transporte aos caminhões



Etapa 6 - Transporte aos centros consumidores

O transporte aos centros consumidores é terceirizado, portanto há uma grande variedade de tipos de caminhões que o realizam. Para simplificar o estudo, convencionou-se a utilização de um caminhão (Figura 26) com potência 250 CV, ano 2010, com a capacidade de 12 m³ ou 14 a 15 toneladas de brita, fazendo 3,4 km/L, utilizando diesel S500.

A distância média aos centros consumidores é de 50 km, a mínima é de 1 km e a máxima 150 km. Distâncias maiores inviabilizam economicamente o processo. Para o presente estudo adotou-se a distância média de 50 km.

Figura 26 – Transporte final

Etapa 7 – Uso

Após ser beneficiada e levada aos centros consumidores, a brita é incorporada no concreto em usinas. Nesse processo, foi considerada a quantidade de água necessária para a obtenção do concreto e a energia elétrica gasta em uma usina de concreto para a obtenção do mesmo. Vale salientar que para obter o fluxo de referência em questão realizou-se a alocação, considerando que todas as entradas e saídas baseadas no concreto foram ajustadas em 83,6% que corresponde ao volume de brita no mesmo.

Não foi considerado o transporte da usina aos locais de edificação e suas entradas não foram quantificadas. No que tange à edificação em si, a durabilidade adotada para o edifício foi de 75 anos, contemplada em ABNT (2013). Além disso, de acordo com Agopyan et al. (2003), foi adotada a perda de 9% em volume de concreto na construção.

Após determinado tempo de uso da edificação, foi considerada também a realização de uma reforma com aquisição de 5% em volume de concreto, definida por ABNT (2013) e ABNT (1998). Para essa nova aquisição, foi apenas considerada a obtenção de recursos materiais, não sendo contemplados os impactos desde o início do ciclo de vida.

Etapa 8 – Disposição final

O presente estudo adotou que depois de transcorridos os 75 anos, o edifício em sua totalidade, no que tange a sua estrutura, seria demolido e os resíduos seriam dispostos em um aterro de inertes. Como após a realização do concreto não é possível a separação da brita, foi

necessário realizar novamente a alocação para atribuir os valores das entradas e saídas. A distância da edificação ao aterro foi estimada em 50 km e o caminhão adotado o mesmo da Etapa 6.

- **Fronteiras do sistema e critérios de corte**

Adotou-se a fronteira cradle to grave, ou seja, do berço ao túmulo considerando todas as etapas do ciclo de vida da brita. O critério de corte adotado foi de 5% em massa de cada substância em relação ao total do fluxo de entrada de cada etapa. Vale salientar que se a substância for considerada impactante ambientalmente ela será computada na ICV, mesmo não se enquadrando nesse critério de corte referido por sua massa.

Outro aspecto importante considerado é a reabsorção de gás carbônico com o decorrer da construção da estrutura. Entretanto, como a etapa de fabricação do cimento está fora do escopo do estudo, não se considerou essa reabsorção (SHAO; MIRZA; WU, 2006).

Posto isso, como foram utilizados alguns dados de Sheehan et al. (1998) é necessário dizer que estes não consideram relevantes as emissões da combustão do diesel para a água ou para o solo. Mais precisamente voltado ao critério de corte, não considerou-se a emissão de naftalenos, por serem inferiores ao valor considerado (PETROLEUM HPV TESTING GROUP MEMBER COMPANY, 1997).

- **Modelagem para ICV**

A modelagem utilizada é do tipo atribucional. De acordo com European Commission (2010a) o modelo atribucional remete a uma ACV descritiva, mensurável, com dados históricos e que perpassa a descrição de impactos potenciais atribuídos a um produto ou sistema de produtos.

- **Representatividade e adequação dos dados da ICV**

A representatividade geográfica dos dados primários remete à região do município de Limeira-SP, a representatividade tecnológica remete ao processo do produto, que é comumente utilizado em minerações de brita e a representatividade temporal identifica que os dados primários foram obtidos no ano de 2012.

No que tange aos dados secundários, estes são variáveis em relação à representatividade geográfica, pois há uso de dados nacionais e internacionais. A representatividade tecnológica e a temporal também sofrem variações.

Vale acrescentar que a durabilidade adotada da estrutura foi de 75 anos, de acordo com a ABNT (2013). De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a representatividade temporal global do estudo é de 35 anos tendo em vista que até 2050 haverá intenso uso do concreto nos moldes tradicionais da construção civil.

- **Bases para AICV**

A AICV teve por método o EDIP 1997 (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 1997) com as seguintes categorias de impacto, citadas a seguir: Eutrofização; Formação de ozônio fotoquímico; Consumo de recursos energéticos não renováveis; Consumo de recursos energéticos renováveis; Consumo de recursos materiais renováveis; Consumo de recursos materiais não renováveis; Aquecimento global; Toxicidade humana (ar); Toxicidade humana (água); Toxicidade humana (solo); Ecotoxicidade aguda (água); Ecotoxicidade crônica (água); Ecotoxicidade crônica (solo); Acidificação; Resíduos perigosos e Resíduos de construção civil. Estes correspondem aos impactos do tipo *midpoint*.

- **Tipo, qualidade e fontes de dados e informações**

Os dados utilizados na ICV foram de fontes primárias obtidas em campo, secundárias obtidas na literatura, através também de estimativas e demais dados oferecidos pela mineradora.

- **Revisão crítica**

A revisão crítica foi feita pelos especialistas da banca, sendo que esta fase é muito benéfica para a qualidade, credibilidade e o valor do estudo. Assim, o tipo de revisão crítica foi do tipo interna independente.

- **Relatório da ACV**

O relatório da ACV compôs a dissertação de mestrado, enquadrando-se na forma clássica, com detalhamento, constando um texto detalhado com gráficos, quadros e figuras, sendo preferencialmente de uso interno.

6.2 ICV

Após a Definição de objetivo e escopo, foi realizada a etapa de ICV, previamente descrita na metodologia.

- **Preparação e coleta de dados**

Na etapa de preparação para a coleta de dados foi realizado um questionário para orientar a coleta de dados. Após isso, foi feita uma visita técnica a uma mineradora de basalto na região de Limeira – SP, com a finalidade de coletar dados primários e realizar um acervo fotográfico das etapas que perfazem o sistema de produto. Além disso, foram utilizados também dados secundários, provenientes de literatura específica e alguns dados estimados e orientados para os devidos fins do estudo.

- **Validação e correlação dos dados**

O inventário permeou a quantificação de entradas e saídas dos fluxos de materiais e energia incluídos na fronteira do estudo, a fim de estabelecer bases concretas para a quantificação e interpretação dos impactos do ciclo de vida decorrentes do produto em estudo. Dessa forma, foram feitos ajustes nas entradas e saídas quanto à unidade dimensional adequada para se enquadrarem na unidade funcional estabelecida.

- **Refinamento das fronteiras do sistema**

Houve o refinamento do sistema, denotado pelos critérios de corte e pela exclusão de da etapa de armazenagem. Vale salientar que por se tratar de um processo iterativo, novas aquisições de dados foram necessárias, por meio do contato com a mineradora.

- **Inventário completado**

A seguir, encontra-se a Análise de Inventário do Ciclo de Vida, que é denotada pelas Tabelas 1 a 7, mostrando todas as etapas do sistema de produto envolvidas e a legenda das fontes das informações consta na Tabela 8.

Tabela 1 – Resultados da ICV: extração**1. EXTRAÇÃO**

<i>1.1 Fluxos de entrada</i>	<i>Unidade funcional</i>	<i>Unidade dimensional</i>	<i>Fonte</i>
<i>1.1.1 Consumo de recursos materiais não renováveis</i>			
Basalto	5,58E+02	kg/m ² de edificação	1
- Explosivos			
Nitrato de amônio	1,33E-04	kg/m ² de edificação	1
Metileno	7,75E-06	kg/m ² de edificação	2
- Perfuratriz			
Diesel	2,69E-02	kg/m ² de edificação	1
- Escavadeira 954 Liebherr			
Diesel	9,75E-03	kg/m ² de edificação	1
Aditivo para radiador	2,14E-04	kg/m ² de edificação	1
- Óleos lubrificantes dos equipamentos			
Óleo de transmissão - SAE 90	9,32E-04	kg/m ² de edificação	1
Óleo 15W40	1,61E-03	kg/m ² de edificação	1
Óleo lubrificante - 220	2,29E-03	kg/m ² de edificação	1
<i>1.1.2 Consumo de energia</i>			
- Proveniente do consumo total de diesel			
Energia	9,87E-02	kWh/m ² de edificação	1
TOTAL DOS FLUXOS DE ENTRADA	5,58E+02	kg/m² de edificação	
<i>1.2 Fluxos de saída</i>	<i>Unidade funcional</i>	<i>Unidade dimensional</i>	<i>Fonte</i>
<i>1.2.1 Emissões atmosféricas</i>			
- Provenientes do explosivo			
Nitrogênio	4,66E-05	kg/m ² de edificação	2
Gás carbônico	2,43E-05	kg/m ² de edificação	2
- Provenientes do consumo de diesel			
Gás carbônico	1,23E-01		
Monóxido de carbono	2,65E-03	kg/m ² de edificação	3
Metano	7,98E-06	kg/m ² de edificação	3
Óxido de nitrogênio	3,40E-03	kg/m ² de edificação	3
Óxido nitroso	9,65E-07	kg/m ² de edificação	3
Benzeno	7,87E-09	kg/m ² de edificação	4
Formaldeído	1,05E-07	kg/m ² de edificação	4
Material Particulado	1,56E-05	kg/m ² de edificação	4
Ácido clorídrico	5,87E-07	kg/m ² de edificação	4
Ácido fluorídrico	7,35E-08	kg/m ² de edificação	4
Amônia	5,84E-12	kg/m ² de edificação	4
Óxido sulfúrico	1,72E-04	kg/m ² de edificação	4
Compostos orgânicos voláteis não metanos	6,46E-04	kg/m ² de edificação	3
<i>1.2.2 Resíduos sólidos</i>			
Aditivo de descarte	2,14E-04	kg/m ² de edificação	1
Óleo de descarte	4,85E-03	kg/m ² de edificação	1
TOTAL DOS FLUXOS DE SAÍDA	1,35E-01	kg/m² de edificação	

Tabela 2 – Resultados da ICV: transporte ao beneficiamento

2. TRANSPORTE AO BENEFICIAMENTO				
<i>2.1 Fluxos de entrada</i>	<i>Unidade funcional</i>	<i>Unidade dimensional</i>	<i>Fonte</i>	
<i>2.1.1 Consumo de recursos não renováveis</i>				
- Caminhão Scania VPB 373 P400				
Diesel	2,62E-03	kg/m ² de edificação	1	
Aditivo para radiador	1,43E-04	kg/m ² de edificação	1	
<i>2.1.2 Consumo de recursos renováveis</i>				
- Nebulização de vias				
Água	7,73E+00	kg/m ² de edificação	1	
<i>2.1.3 Consumo de energia</i>				
- Proveniente do consumo total de diesel				
Energia		kWh/m ² de edificação	1	
TOTAL DOS FLUXOS DE ENTRADA	7,73E+00	kg/m² de edificação		
<i>2.2 Fluxos de saída</i>	<i>Unidade funcional</i>	<i>Unidade dimensional</i>	<i>Fonte</i>	
<i>2.2.1 Emissões atmosféricas</i>				
- Provenientes do consumo de diesel				
Gás carbônico	8,80E-03	kg/m ² de edificação	3	
Monóxido de carbono	1,90E-04	kg/m ² de edificação	3	
Metano	5,72E-07	kg/m ² de edificação	3	
Óxido de nitrogênio	2,44E-04	kg/m ² de edificação	3	
Óxido nitroso	6,91E-08	kg/m ² de edificação	3	
Benzeno	5,64E-10	kg/m ² de edificação	4	
Formaldeído	7,55E-09	kg/m ² de edificação	4	
Material Particulado	1,12E-06	kg/m ² de edificação	4	
Ácido clorídrico	4,21E-08	kg/m ² de edificação	4	
Ácido fluorídrico	5,26E-09	kg/m ² de edificação	4	
Amônia	4,19E-13	kg/m ² de edificação	4	
Óxido sulfúrico	1,23E-05	kg/m ² de edificação	4	
Compostos orgânicos voláteis não metanos	4,63E-05	kg/m ² de edificação	3	
<i>2.2.2 Resíduos sólidos</i>				
Aditivo de descarte	1,43E-04	kg/m ² de edificação	1	
TOTAL DOS FLUXOS DE SAÍDA	9,43E-03	kg/m² de edificação		

Tabela 3 – Resultados da ICV: beneficiamento**3. BENEFICIAMENTO**

<i>3.1 Fluxos de entrada</i>	<i>Unidade funcional</i>	<i>Unidade dimensional</i>	<i>Fonte</i>
<i>3.1.1 Consumo de recursos não renováveis</i>			
- Equipamentos de britagem			
Aditivo para radiador	1,43E-04	kg/m ² de edificação	1
Óleo 15W40	3,08E-03	kg/m ² de edificação	1
Óleo T50	4,58E-03	kg/m ² de edificação	1
Óleo 85W140	4,69E-04	kg/m ² de edificação	1
Óleo 90 LS	1,50E-02	kg/m ² de edificação	1
Óleo AT	2,30E-04	kg/m ² de edificação	1
Óleo SAE 90	6,99E-04	kg/m ² de edificação	1
<i>3.1.2 Consumo de recursos renováveis</i>			
Água	1,29E+00	kg/m ² de edificação	1
<i>3.1.3 Consumo de energia</i>			
- Equipamentos de britagem			
Energia elétrica	2,05E+00	kWh/m ² de edificação	5
TOTAL DOS FLUXOS DE ENTRADA	1,31E+00	kg/m² de edificação	
<i>3.2 Fluxos de saída</i>			
<i>3.2.1 Resíduos sólidos</i>			
Óleo de descarte	2,41E-02	kg/m ² de edificação	1
Aditivo de descarte	1,43E-04	kg/m ² de edificação	1
TOTAL DOS FLUXOS DE SAÍDA	2,43E-02	kg/m² de edificação	

Tabela 4 – Resultados da ICV: transporte do beneficiamento aos caminhões**5. TRANSPORTE DO BENEFICIAMENTO AOS CAMINHÕES**

<i>5.1 Fluxos de entrada</i>	<i>Unidade funcional</i>	<i>Unidade dimensional</i>	<i>Fonte</i>
<i>5.1.1 Consumo de recursos não renováveis</i>			
- Pá carregadeira - Caterpillar 950 F - Série II			
Diesel	1,45E-02	kg/m ² de edificação	1
<i>5.1.2 Consumo de energia</i>			
- Proveniente do consumo total de diesel			
Energia	4,57E-02	kWh/m ² de edificação	1
TOTAL DOS FLUXOS DE ENTRADA	1,45E-02	kg/m² de edificação	
<i>5.2 Fluxos de saída</i>	<i>Unidade funcional</i>	<i>Unidade dimensional</i>	<i>Fonte</i>
<i>5.2.1 Emissões atmosféricas</i>			
- Provenientes do consumo de diesel			
Gás carbônico	4,85E-02	kg/m ² de edificação	3
Monóxido de carbono	1,05E-03	kg/m ² de edificação	3
Metano	3,16E-06	kg/m ² de edificação	3
Óxido de nitrogênio	1,35E-03	kg/m ² de edificação	3
Óxido nitroso	3,82E-07	kg/m ² de edificação	3
Benzeno	3,11E-09	kg/m ² de edificação	4
Formaldeído	4,17E-08	kg/m ² de edificação	4
Material Particulado	6,17E-06	kg/m ² de edificação	4
Ácido clorídrico	2,32E-07	kg/m ² de edificação	4
Ácido fluorídrico	2,90E-08	kg/m ² de edificação	4
Amônia	2,31E-12	kg/m ² de edificação	4
Óxido sulfúrico	6,79E-05	kg/m ² de edificação	4
Compostos orgânicos voláteis não metanos	2,55E-04	kg/m ² de edificação	3
TOTAL DOS FLUXOS DE SAÍDA	5,13E-02	kg	

Tabela 5 – Resultados da ICV: transporte aos centros consumidores**6. TRANSPORTE AOS CENTROS CONSUMIDORES**

<i>6.1 Fluxos de entrada</i>	<i>Unidade funcional</i>	<i>Unidade dimensional</i>	<i>Fonte</i>
<i>6.1.1 Consumo de recursos não renováveis</i>			
- Caminhão Mercedes 250 CV			
Diesel	1,58E-03	kg/m ² de edificação	1
<i>6.1.2 Consumo de energia</i>			
- Proveniente do consumo total de diesel			
Energia	4,99E-03	kWh/m ² de edificação	1
TOTAL DOS FLUXOS DE ENTRADA	1,58E-03	kg/m² de edificação	
<i>6.2 Fluxos de saída</i>	<i>Unidade funcional</i>	<i>Unidade dimensional</i>	<i>Fonte</i>
<i>6.2.1 Emissões atmosféricas</i>			
- Provenientes do consumo de diesel			
Gás carbônico	5,30E-03	kg/m ² de edificação	3
Monóxido de carbono	1,15E-04	kg/m ² de edificação	3
Metano	3,45E-07	kg/m ² de edificação	3
Óxido de nitrogênio	1,47E-04	kg/m ² de edificação	3
Óxido nitroso	4,17E-08	kg/m ² de edificação	3
Benzeno	3,40E-10	kg/m ² de edificação	4
Formaldeído	4,55E-09	kg/m ² de edificação	4
Material Particulado	6,73E-07	kg/m ² de edificação	4
Ácido clorídrico	2,53E-08	kg/m ² de edificação	4
Ácido fluorídrico	3,17E-09	kg/m ² de edificação	4
Amônia	2,52E-13	kg/m ² de edificação	4
Óxido sulfúrico	7,42E-06	kg/m ² de edificação	4
Compostos orgânicos voláteis não metanos	2,79E-05	kg/m ² de edificação	3
TOTAL DOS FLUXOS DE SAÍDA	5,60E-03	kg/m² de edificação	

Tabela 6 – Resultados da ICV: uso**7. USO**

<i>7.1 Fluxos de entrada</i>	<i>Unidade funcional</i>	<i>Unidade dimensional</i>	<i>Fonte</i>
<i>7.1.1 Consumo de recursos renováveis</i>			
- Água utilizada na produção de concreto			
Água	5,32E+01	kg/m ² de edificação	1
<i>7.1.2 Consumo de energia</i>			
- Equipamentos da usina de concreto			
Energia elétrica	2,96E-01	kWh/m ² de edificação	1
TOTAL DOS FLUXOS DE ENTRADA	5,32E+01	kg/m² de edificação	
<i>7.2 Fluxos de saída</i>			
<i>7.2.1 Resíduos sólidos</i>			
- Total de resíduos em reformas e perdas			
Resíduos de construção e demolição	7,81E+01	kg/m ² de edificação	6
TOTAL DOS FLUXOS DE SAÍDA	7,81E+01	kg/m² de edificação	

Tabela 7 – Resultados da ICV: disposição final**8. DISPOSICÃO FINAL**

<i>8.1 Fluxos de entrada</i>	<i>Unidade funcional</i>	<i>Unidade dimensional</i>	<i>Fonte</i>
<i>8.1.1 Consumo de recursos não renováveis</i>			
- Caminhão para transporte final			
Diesel	1,94E-01	kg/m ² de edificação	7
- Volume total de concreto levado ao aterro			
Resíduos	4,80E+02	kg/m ² de edificação	7
<i>8.1.2 Consumo de energia</i>			
- Proveniente do consumo total de diesel			
Energia	6,13E-01	kWh/m ² de edificação	1
TOTAL DOS FLUXOS DE ENTRADA	4,80E+02	kg/m² de edificação	
<i>8.2 Fluxos de saída</i>	<i>Unidade funcional</i>	<i>Unidade dimensional</i>	<i>Fonte</i>
<i>8.2.1 Emissões atmosféricas</i>			
- Provenientes do consumo de diesel			
Gás carbônico	6,52E-01	kg/m ² de edificação	3
Monóxido de carbono	1,41E-02	kg/m ² de edificação	3
Metano	4,24E-05	kg/m ² de edificação	3
Óxido de nitrogênio	1,81E-02	kg/m ² de edificação	3
Óxido nitroso	5,12E-06	kg/m ² de edificação	3
Benzeno	4,18E-08	kg/m ² de edificação	4
Formaldeído	5,59E-07	kg/m ² de edificação	4
Material Particulado	8,28E-05	kg/m ² de edificação	4
Ácido clorídrico	3,12E-06	kg/m ² de edificação	4
Ácido fluorídrico	3,90E-07	kg/m ² de edificação	4
Amônia	3,10E-11	kg/m ² de edificação	4
Óxido sulfúrico	9,12E-04	kg/m ² de edificação	4
Compostos orgânicos voláteis não metanos	3,43E-03	kg/m ² de edificação	3
TOTAL DOS FLUXOS DE SAÍDA	6,88E-01	kg/m² de edificação	

Tabela 8 – Legenda das fontes

FONTE	
1	Primário
2	Calculado de Torres e Gama (2005)
3	Calculado de Ministério da Ciência e Tecnologia (BRASIL, 2006)
4	Calculado de Braun, Appel e Schmal (2003); Castellanelli et al. (2008); Longhi et al. (2004); Sheehan et al. (1998) e Souza (2012)
5	Primário e Sampaio, Carvalho e Piquet (2002)
6	Calculado de Agopyan et al. (2003)
7	Estimado

Analisando quantitativamente os fluxos de entrada e saída, pode-se notar que a etapa de extração possui o maior valor de fluxo de entrada, devido à quantificação do volume total de basalto. Entretanto, qualitativamente, nota-se que a emissão de poluentes atmosféricos e demais substâncias, exercem impactos significativos no meio ambiente, mesmo que em menores proporções. Além disso, há um expressivo consumo de recursos em todo o ciclo de vida da brita, destacando-se os não renováveis e o consumo de energia.

6.3 AICV

Primeiramente é importante a descrição qualitativa dos impactos ambientais associados ao ciclo de vida da brita. Para isso, construiu-se o Quadro 6 apresentado a seguir. Nesse quadro há a atribuição qualitativa de dois valores, sendo 1 (baixa relevância) ou 2 (alta relevância) no que diz respeito à relação entre atividades antrópicas e impactos ambientais, divididos entre os três meios: físico, biótico e antrópico. Dessa forma, a soma final de cada impacto demonstrou que os críticos foram: alteração da qualidade do solo, do ar e das águas superficiais e impacto visual.

Quadro 6 – Relação entre atividades e impactos ambientais

Atividades	Meio Físico							Meio Biótico							Meio Antrópico									
	Alteração da qualidade das águas superficiais	Alteração da qualidade das águas subterrâneas	Alteração do regime hidrológico	Alteração da qualidade do ar	Alteração da qualidade do solo	Alteração da topografia	Alteração do microclima	Alteração ou destruição de habitats	Redução da produção primária	Diminuição da produtividade de ecossistemas	Diminuição da disponibilidade de nutrientes	Deslocamento da fauna	Perda de espécies	Proliferação de vetores	Impacto visual	Riscos à saúde humana	Substituição de atividades econômicas	Sobrecarga da infraestrutura de serviços	Aumento do tráfego de veículos	Perda de patrimônio cultural	Alteração dos modos de vida tradicionais	Perda de qualidade de vida	Limitações das opções de uso do solo	
Remoção da cobertura vegetal	2				2		1	2	2	2	2	2	2		2									
Implantação de sistema de drenagem na mineração	1		2		1	1		1			1				1			1						
Remoção da camada superficial do solo	2				2			1	2	2	2	1							2					
Estocagem de camada de solo					1																			
Decapamento da camada estéril					2										2				2					
Modificação das formas de uso do solo										2				2		2		2	2	1	2		2	
Extração do minério por explosivos				2		2						2			2	2			2			1		
Bombeamento de água subterrânea		2																1						
Carregamento em caminhões basculantes até o beneficiamento				2															2					
Beneficiamento				2												2		2						1
Manutenção de máquinas e caminhões	2	2			2											2								
Geração de resíduos, efluentes e emissões atmosféricas	2	2		2	2		1								2	2						2	1	
Armazenagem						1									2									
Transporte aos caminhões	1			2	1		2					2												
Transporte aos centros consumidores	1			2	1		2					2												
Indução de fluxos migratórios humanos				2																		1	2	
Alteração ou destruição de sítios de interesse cultural ou artístico																				2				
Aumento da oferta de empregos																		2						
Uso	1				1	2									1			2	2					1
Disposição final	2	2		2	2	2	2							2	2	2								
Total	14	8	2	16	17	8	8	4	4	6	5	9	2	4	14	10	2	8	12	3	2	4	7	

Fonte: adaptado de Sánchez (2006)

O Quadro 6 foi construído por meio de revisão bibliográfica e uma visita técnica a outra mineração de basalto. E teve o intuito de elencar os principais impactos decorrentes principalmente das etapas iniciais de extração do basalto. Nota-se que o impacto correspondente à alteração da qualidade do solo e o impacto visual não estão previstos como categorias de impacto constantes no EDIP, implicando em uma limitação desse método. Entretanto, os demais impactos encontrados constam no EDIP e foram quantificados.

6.3.1 Resultados da AICV

Após a quantificação dos fluxos de entrada e saída de cada etapa, tendo em vista as unidades funcionais, calculou-se por meio dos fatores de caracterização de cada categoria de impacto, apresentados no Apêndice C, os respectivos valores dos potenciais impactos. Nas Figuras 27 a 36 estão apresentados todos os resultados obtidos para essa etapa. Esses dados também foram submetidos à normalização e na Tabela 9 consta a legenda e descrição das etapas do sistema de produto. Vale acrescentar que cada categoria de impacto é possuidora de uma unidade dimensional diferente, e dessa forma não é adequada a comparação entre as mesmas se não forem transformadas para uma base comum. Para isso, a AICV deverá também ser composta pela fase de normalização para se obter as etapas críticas da ACV da brita.

Tabela 9 – Legenda das etapas

Etapas	Descrição
1	Extração
2	Transporte ao beneficiamento
3	Beneficiamento
4	Armazenagem
5	Transporte do beneficiamento aos caminhões
6	Transporte aos centros consumidores
7	Uso
8	Disposição final

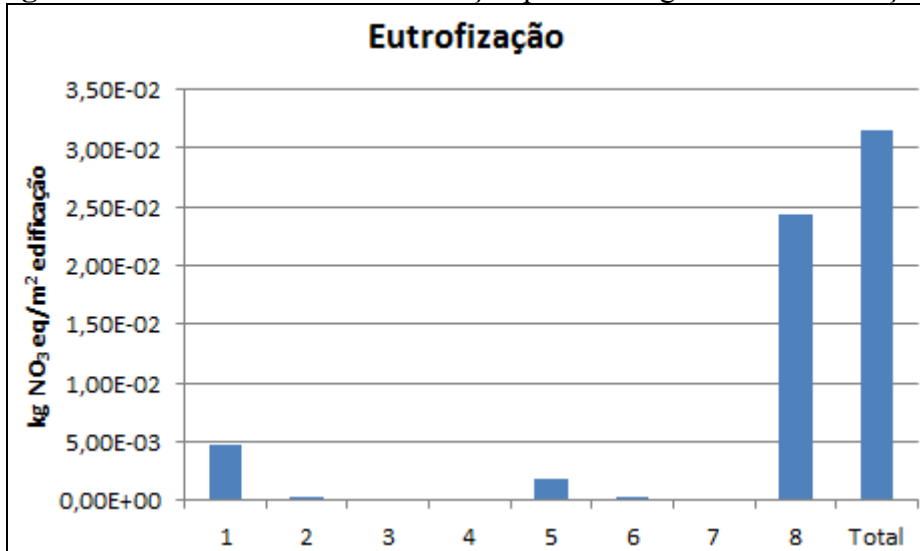
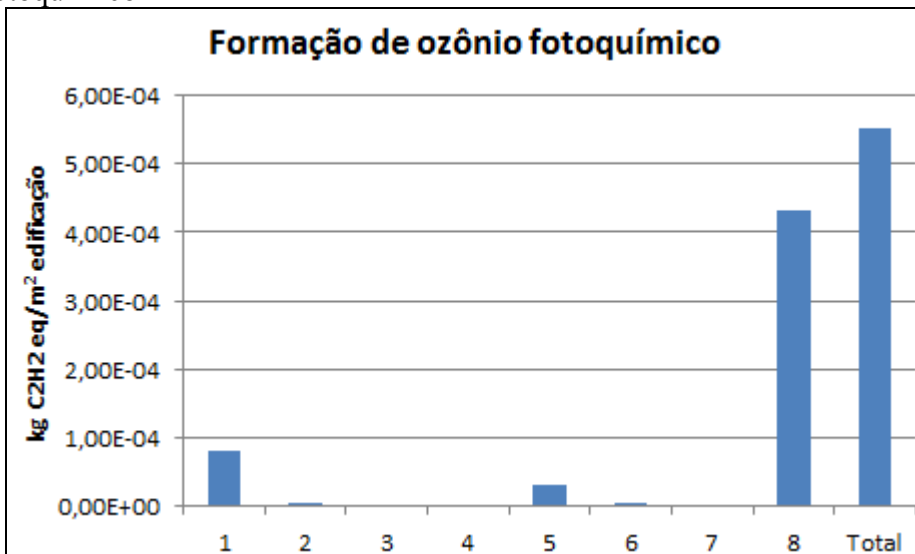
Figura 27 – Resultado da caracterização para a categoria de eutrofização**Figura 28** – Resultado da caracterização para a categoria de formação de ozônio fotoquímico

Figura 29 – Resultado da caracterização para a categoria de aquecimento global

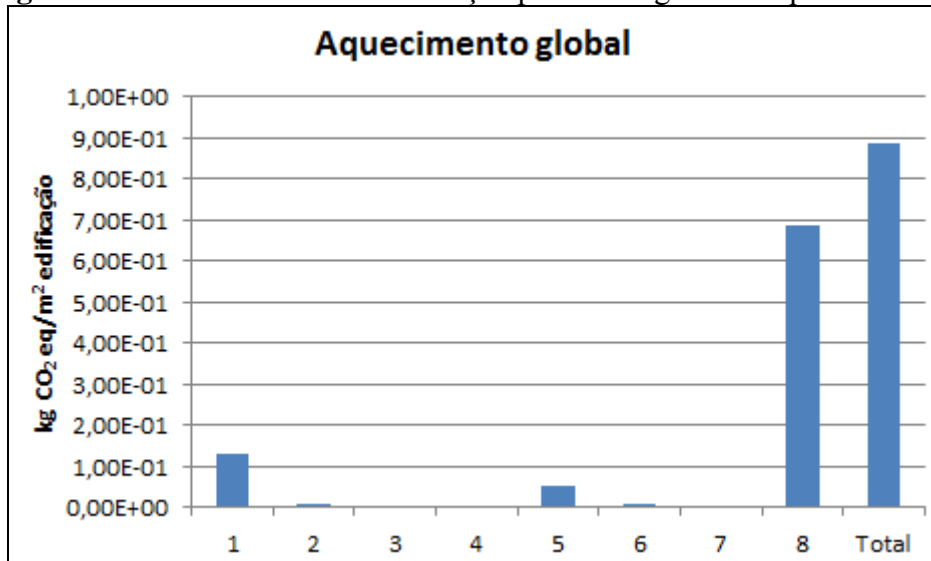


Figura 30 – Resultado da caracterização para a categoria de toxicidade humana (ar)

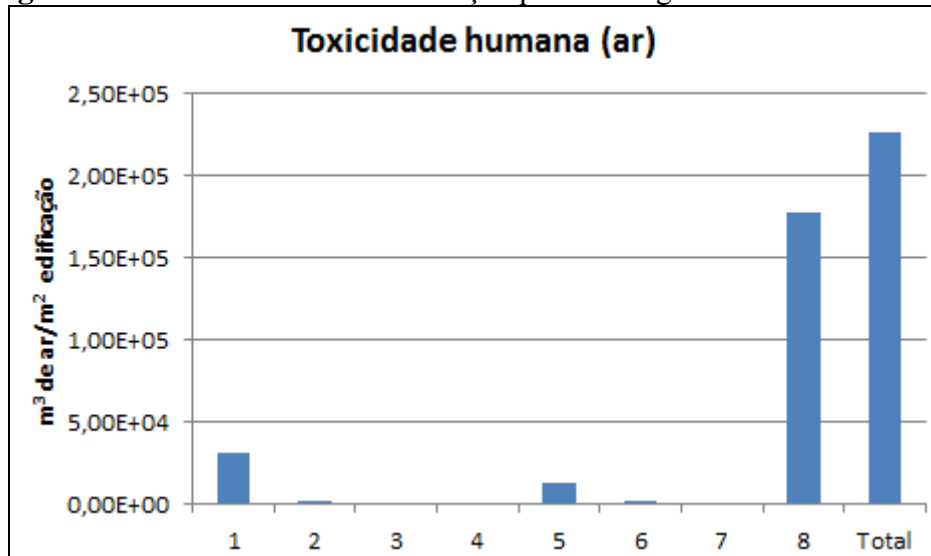


Figura 31 – Resultado da caracterização para a categoria de toxicidade humana (água)

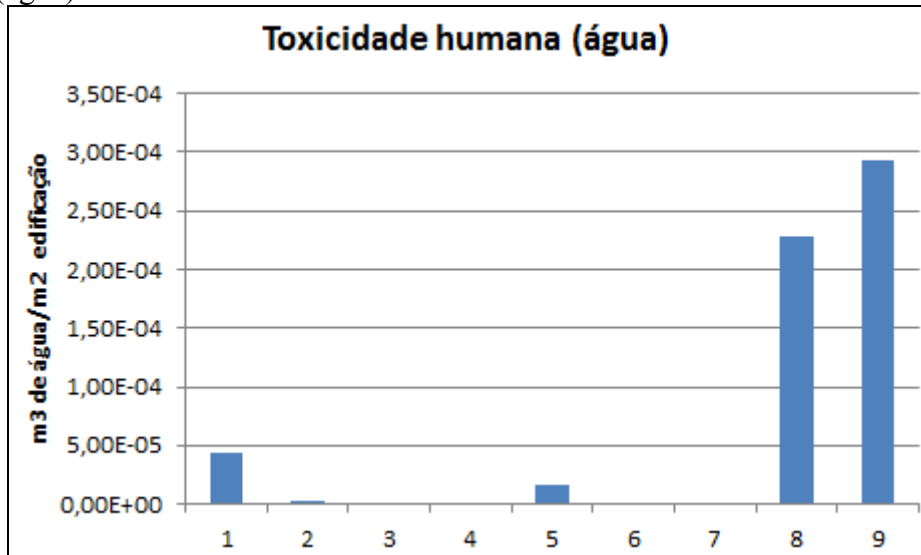


Figura 32 – Resultado da caracterização para a categoria de toxicidade humana (solo)

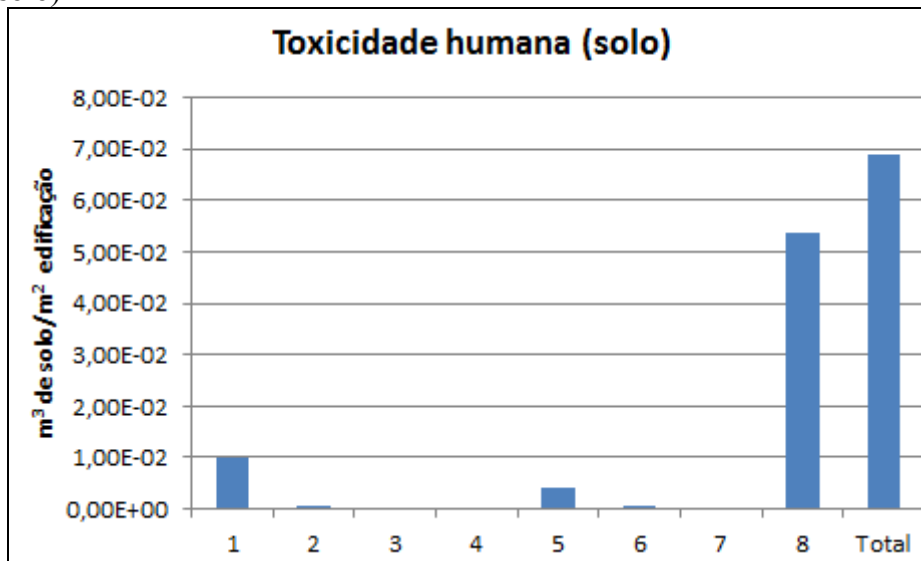


Figura 33 – Resultado da caracterização para a categoria de ecotoxicidade aguda (água)

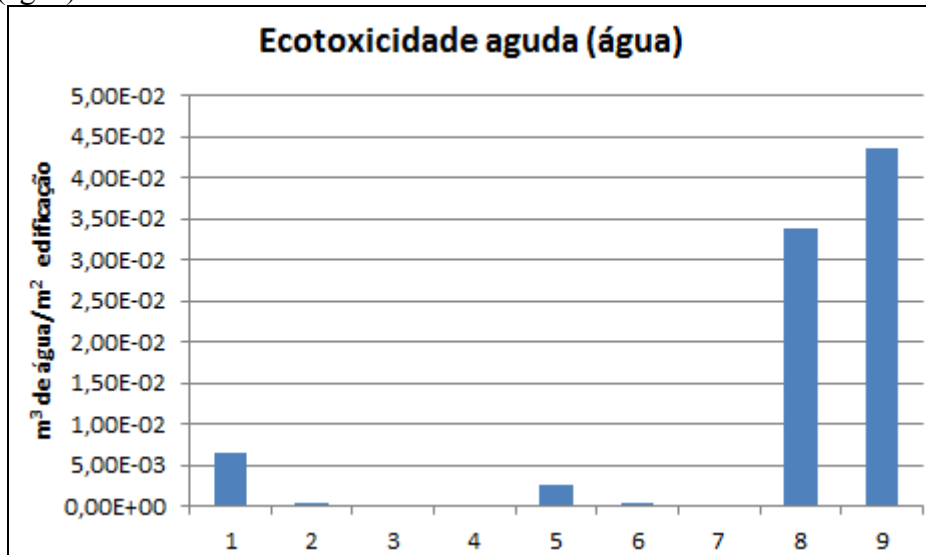


Figura 34 – Resultado da caracterização para a categoria de ecotoxicidade crônica (água)

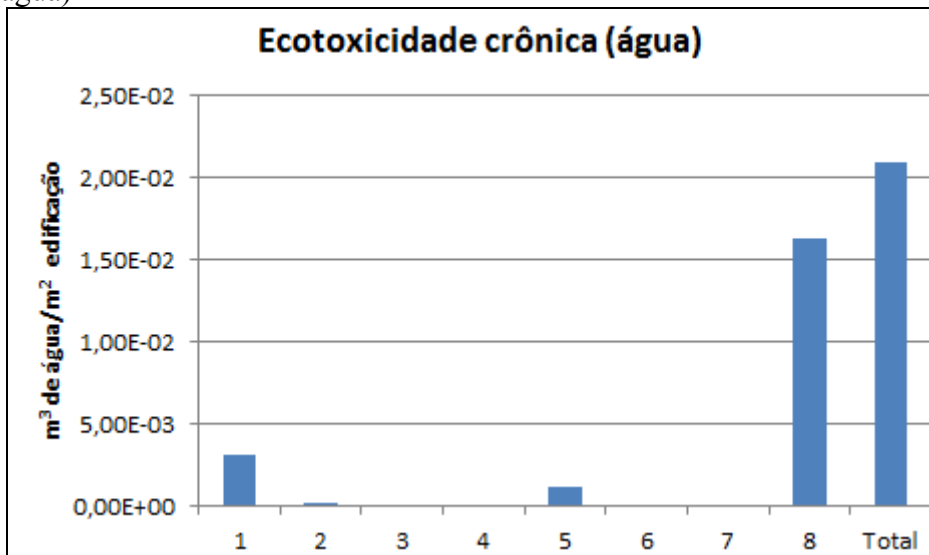


Figura 35 – Resultado da caracterização para a categoria de ecotoxicidade crônica (solo)

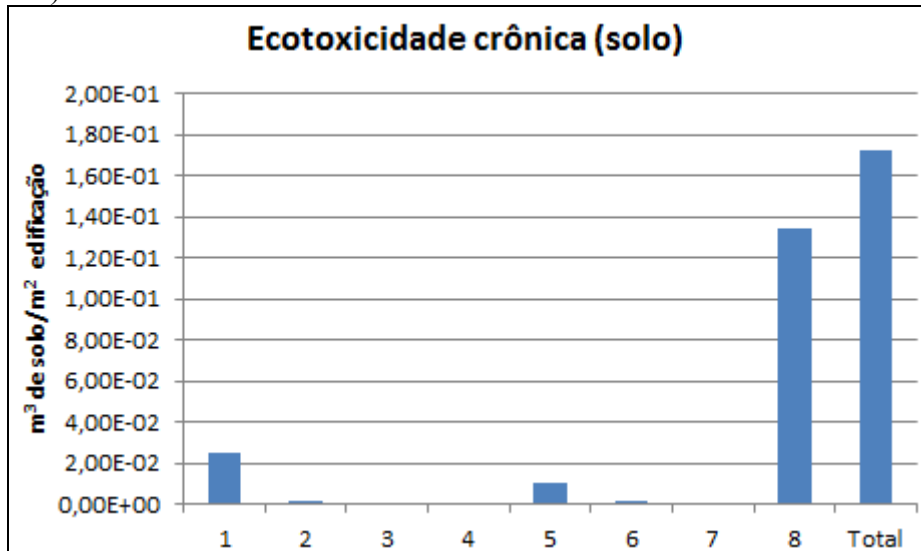
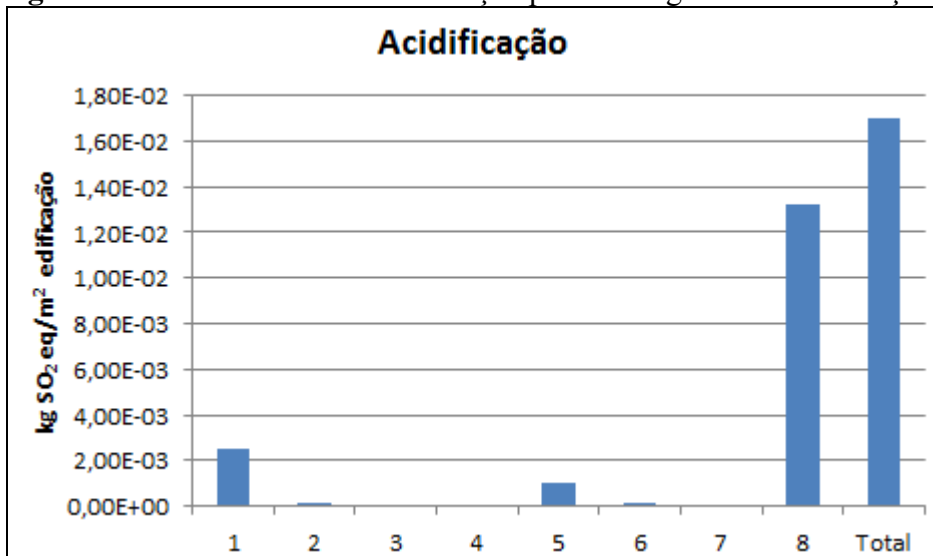


Figura 36 – Resultado da caracterização para a categoria de acidificação

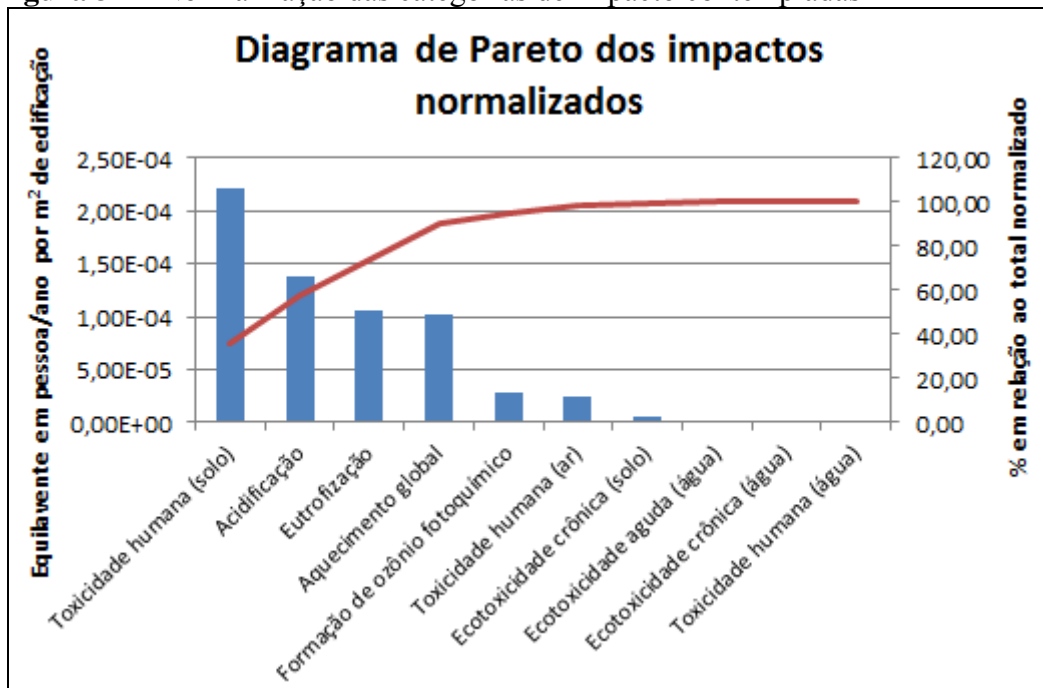


Pode-se notar que as Figuras 27 a 36 apresentaram o mesmo comportamento de resultados. Isso pode ser explicado, pois os dados provenientes para a obtenção desses parâmetros foram calculados de acordo com a quantidade de diesel utilizada em cada etapa. Esse fato poderá ser comprovado pelo consumo de diesel ilustrado na Figura 43.

- **Normalização**

Como afirmado anteriormente, a normalização mostra-se uma ferramenta importante para transformar os impactos em uma unidade dimensional comum, que no caso é dada em equivalente em pessoas/ano. Dessa forma, os resultados finais contemplam a Figura 37 e os parâmetros adotados no Quadro 7 utilizando os valores de referência citados em Wenzel, Hauschild e Alting (1997). Vale acrescentar que para a normalização, o método EDIP 1997 não contempla as categorias de consumo de recursos energéticos e consumo de recursos materiais, sendo analisados posteriormente no presente estudo, juntamente com a categoria de resíduos.

Figura 37 – Normalização das categorias de impacto contempladas

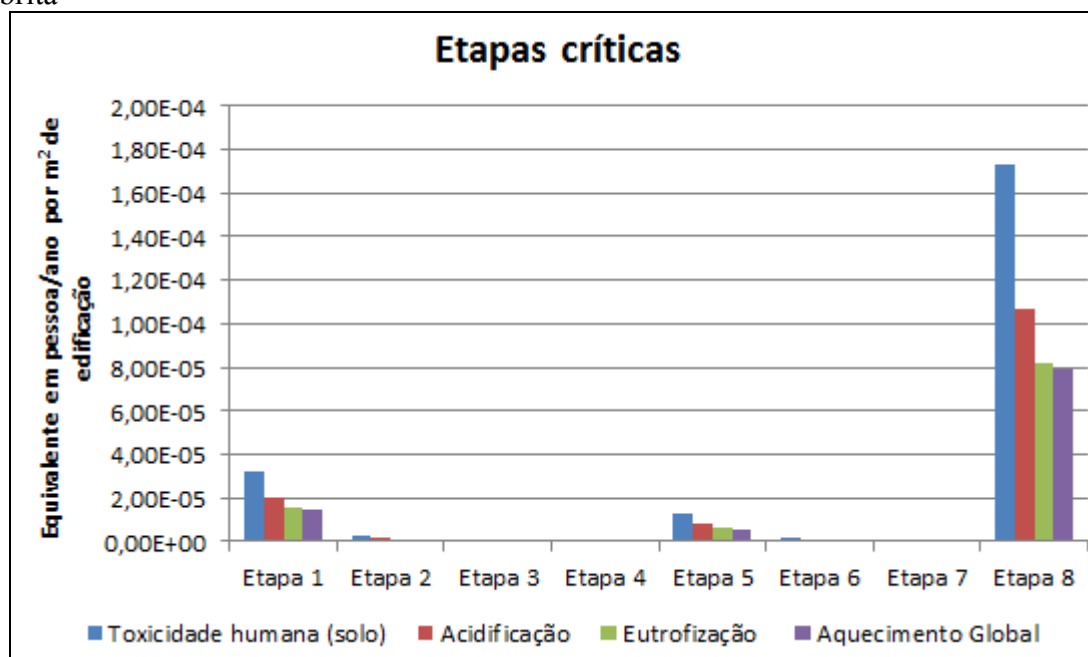


Quadro 7 – Parâmetros adotados do EDIP 1997

Normalização		
Categoria de impacto	Referência	Unidade de referência
Aquecimento global	8,70E+03	kg de CO ₂ eq /pessoa/ano
Formação de ozônio fotoquímico	2,00E+01	kg de C ₂ H ₄ eq/pessoa/ano
Acidificação	1,24E+02	kg de SO ₂ eq/pessoa/ano
Eutrofização	2,98E+02	kg de NO ³⁻ eq/pessoa/ano
Toxicidade humana (ar)	9,20E+09	m ³ de ar/pessoa/ano
Ecotoxicidade aguda (água)	4,80E+04	m ³ de água/pessoa/ano
Toxicidade humana (água)	5,90E+04	m ³ de água/pessoa/ano
Toxicidade humana (solo)	3,10E+02	m ³ de solo/pessoa/ano
Ecotoxicidade crônica (água)	4,70E+05	m ³ de água/pessoa/ano
Ecotoxicidade crônica (solo)	3,00E+04	m ³ de solo/pessoa/ano

A análise dos resultados da normalização permite observar que 90% dos valores totais atribuídos pela normalização correspondem às seguintes categorias: Toxicidade humana (solo), Acidificação, Eutrofização e Aquecimento Global. Essas categorias contemplam as categorias críticas de todo o ciclo de vida da brita. A partir desses dados, pode-se construir a Figura 38, que apresenta as etapas críticas do ciclo de vida da brita, em relação às categorias citadas anteriormente, sendo: Extração (1), Transporte do beneficiamento aos caminhões (5) e Disposição final (8).

Figura 38 – Correspondência entre as etapas e as categorias críticas do ciclo de vida da brita



- **Análises específicas**

Como algumas categorias não foram contempladas no método EDIP 1997, e são muito importantes, foram analisadas de maneira separada a fim de deixar o estudo coerente e coeso. É o caso das categorias de Consumo de recursos energéticos e materiais e Resíduos. Além disso, avaliou-se pertinente também a realização de algumas análises especiais para o consumo de diesel, de água e emissões atmosféricas totais.

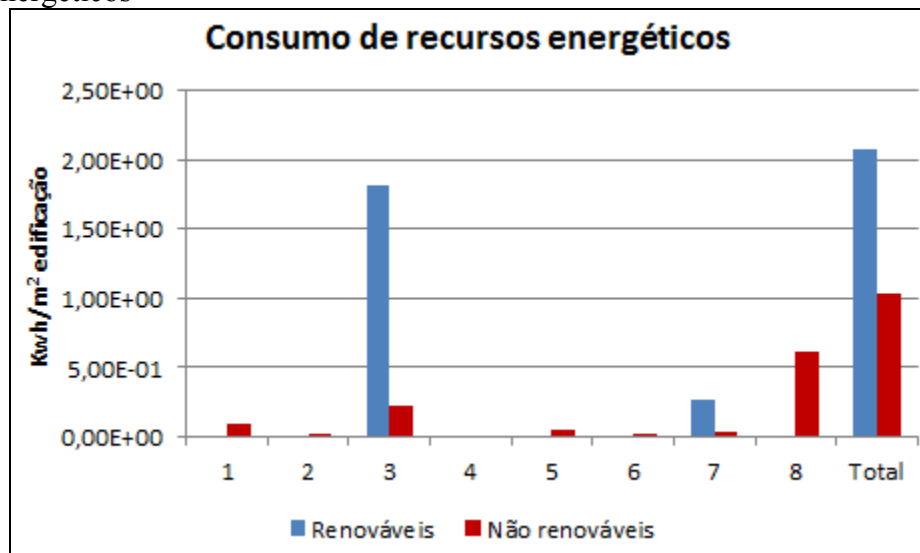
Consumo de recursos energéticos

Dentre os recursos energéticos utilizados no ciclo de vida citam-se a energia elétrica e diesel. Como o EDIP não contempla um *mix* de energia para a obtenção da energia elétrica,

por meio de BRASIL (2012) foram considerados, 88,8% proveniente de fontes renováveis e 11,2% proveniente de fontes não renováveis, para o ano base de 2011.

Na Figura 37 notou-se um elevado valor de recursos energéticos renováveis na etapa de beneficiamento, isso deu-se pela elevada utilização de energia elétrica, que no Brasil em sua maioria é proveniente de fontes renováveis. Um elevado valor de recursos energéticos não renováveis foi obtido na etapa de disposição final devido ao fato de que todos os resíduos foram encaminhados para um aterro de inertes por meio de um caminhão movido à diesel.

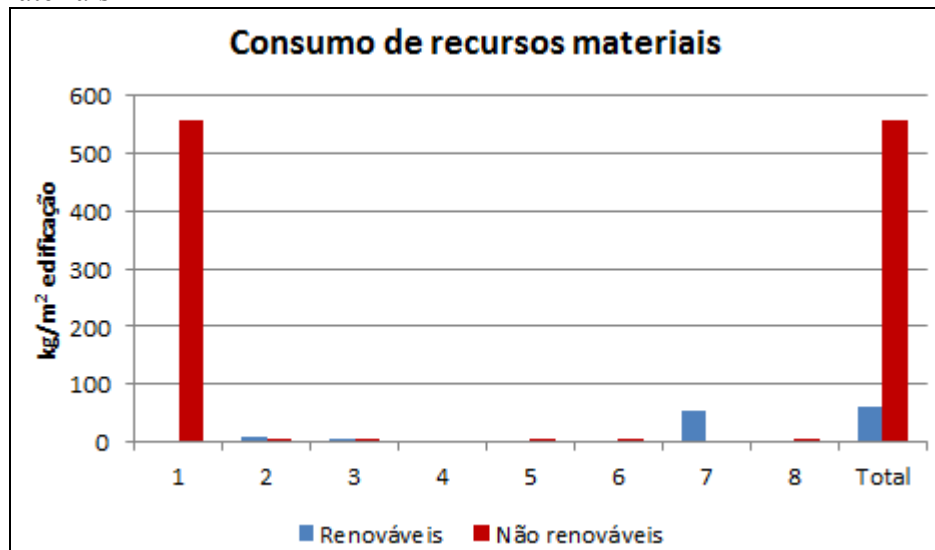
Figura 39 – Resultado da caracterização para a categoria de consumo de recursos energéticos



Consumo de recursos materiais

Na Figura 38 notou-se um elevado valor na etapa de extração devido à obtenção do basalto e este foi considerado um recurso não renovável tendo em vista que o presente estudo utilizou uma abordagem convencional, ou seja, houve a inexistência da reintrodução da brita no ciclo de vida após sua incorporação no concreto. Existem tecnologias que permitem o reuso desse tipo de material como agregado reciclado e podem diminuir esses impactos.

Figura 40 – Resultado da caracterização para a categoria de consumo de recursos materiais



Outro aspecto importante é o uso da água na produção do concreto, denotado pelo valor elevado desse recurso renovável na etapa de uso, denotada na mesma figura. Como esse valor é muito elevado, optou-se por tratar da questão da água na parte de análises especiais.

Resíduos

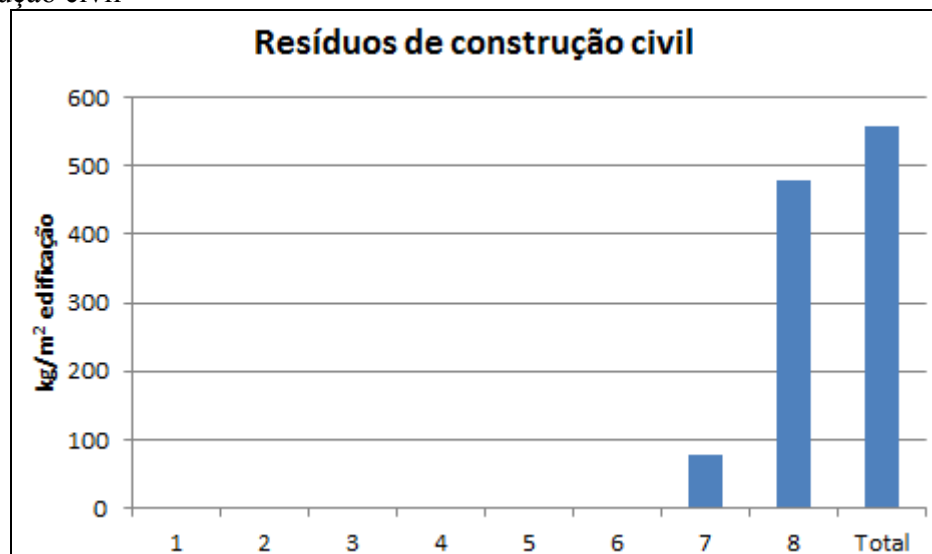
A questão dos resíduos foi tratada em duas classes: resíduos perigosos (Figura 39) e resíduos de construção civil (Figura 40). Vale salientar que a segunda classe contém um grande volume, pois foram consideradas as britas já incorporadas ao concreto, não sendo possível uma segregação. Dentre os resíduos perigosos estão: óleos lubrificantes de descarte e aditivos usados.

Na Figura 39 observou-se que o maior valor de geração de resíduos perigosos encontrou-se na etapa de beneficiamento. Isso é explicado pelo alto consumo de óleos lubrificantes e aditivos nessa etapa que são descartados. Como dito anteriormente, não foi considerada a combustão desses óleos lubrificantes. Na Figura 40 observou-se uma grande geração de resíduos devido à demolição da estrutura do edifício.

Figura 41 – Resultado da caracterização para a categoria de resíduos perigosos



Figura 42 – Resultado da caracterização para a categoria de resíduos de construção civil

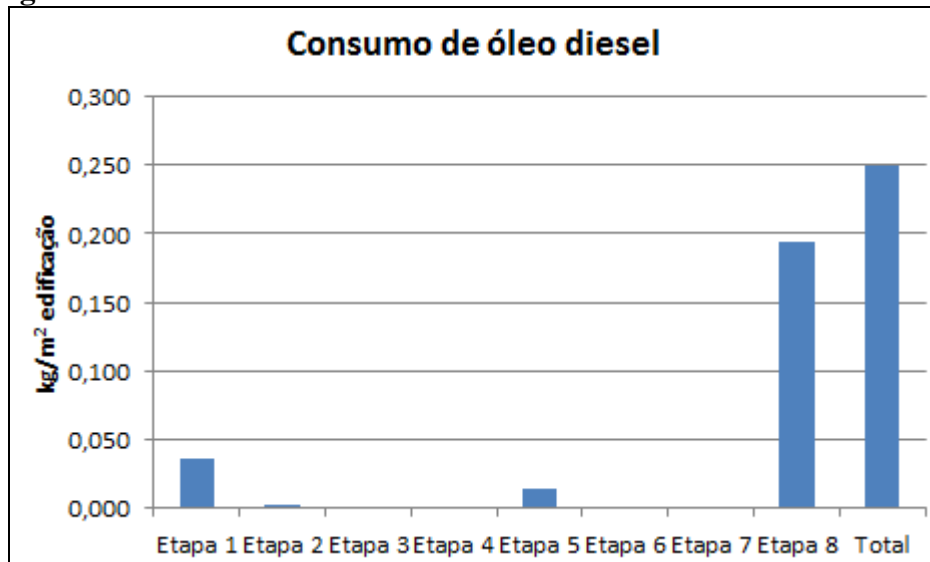


Análises especiais

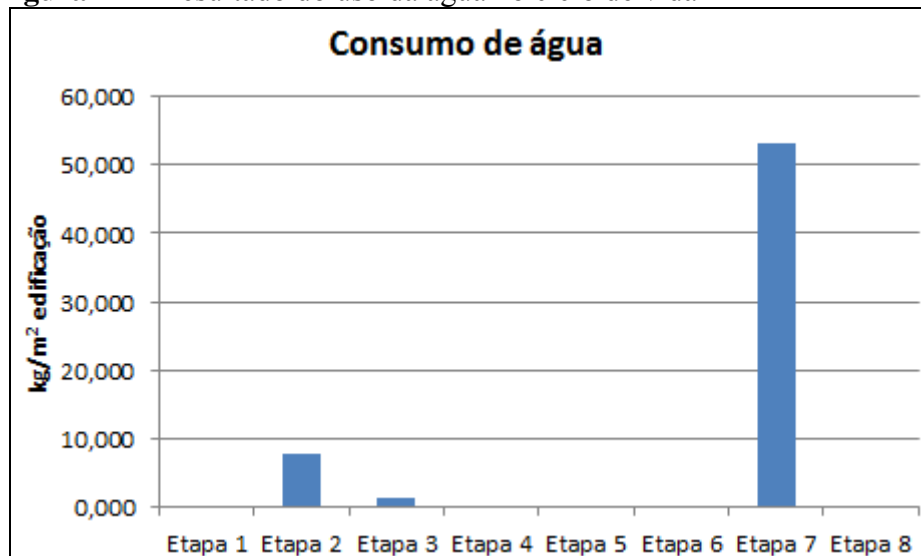
Dentre as análises especiais, observou-se a importância de ser tratar as questões referentes ao consumo de diesel, de água e emissões atmosféricas totais. O consumo de diesel mostra valores elevados para as etapas 1, 5 e 8, como denota a Figura 43. Isso se deve ao fato de que na extração, a perfuratriz e a escavadeira utilizam grande quantidade desse recurso. Na etapa de transporte do beneficiamento aos caminhões há também um grande consumo devido

ao uso de pás carregadeiras. Na etapa final, os caminhões que fazem a disposição dos resíduos de construção civil denotam também um elevado consumo.

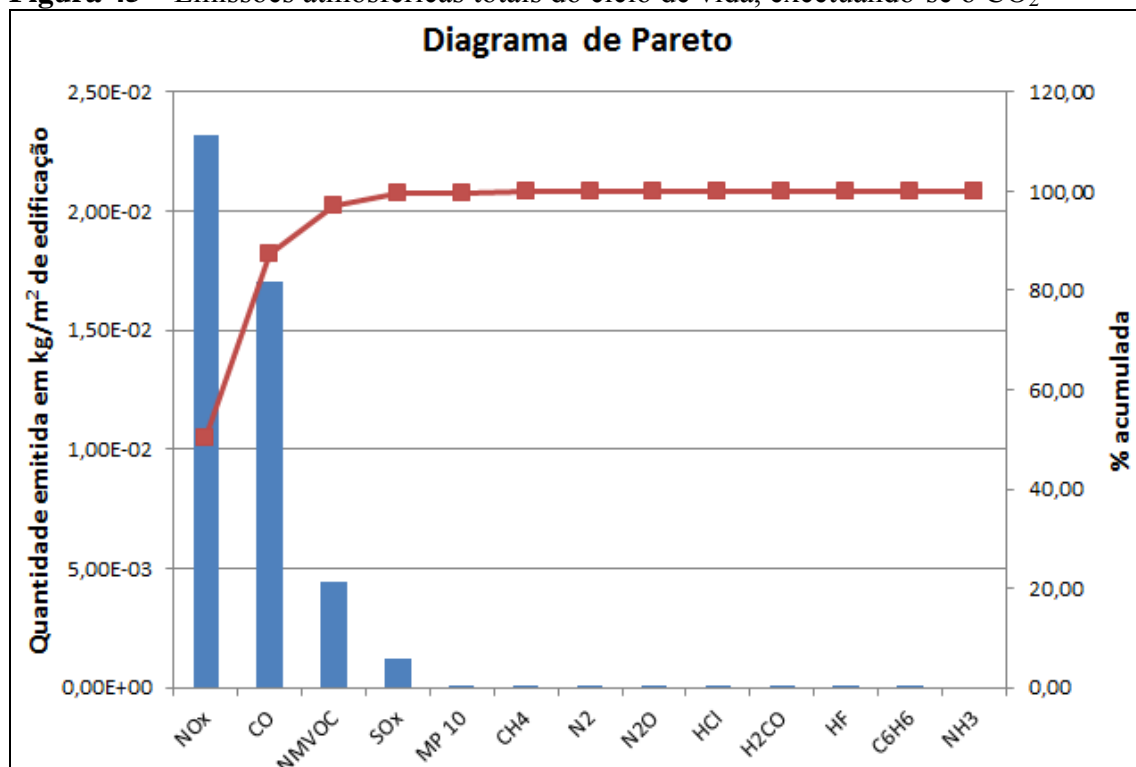
Figura 43 – Resultado do uso de combustível no ciclo de vida



Em relação ao consumo de água, na Figura 44, nota-se três etapas críticas: 2, 3 e 7. A etapa 2, corresponde ao transporte ao beneficiamento. Esse consumo de água se dá pela nebulização de vias, sendo necessário importar água com caminhões pipa. Na etapa 3, correspondente ao beneficiamento, o consumo de água se dá para melhorar o desempenho da britagem e para não promover o acúmulo de pó nas britas para fabricação de um concreto de qualidade. Na etapa 7 há um elevado consumo devido a produção do concreto, que caracteriza a etapa de maior valor. Vale salientar que os consumos de água dos caminhões e demais consumos humanos foram excluídos da análise, devido ao critério de corte adotado.

Figura 44 – Resultado do uso da água no ciclo de vida

Por fim, no que tange as emissões atmosféricas, deve-se salientar que correspondem ao resultado da combustão do diesel utilizado em máquinas e caminhões, ou seja, permeiam o setor de transporte. Segundo o IPCC (2006), o dióxido de carbono é responsável por mais de 90% de todas as emissões provenientes desse setor. No caso do presente estudo, as emissões de CO₂ totalizaram 94,79%. As demais emissões correspondentes a 5,21% foram estatisticamente representadas pela Figura 45, de acordo com o diagrama de Pareto.

Figura 45 – Emissões atmosféricas totais do ciclo de vida, excetuando-se o CO₂

A partir dos valores apresentados no diagrama de Pareto, é possível afirmar que a magnitude desses valores está condizente com Souza (2012), denotando correspondência às substâncias emitidas.

6.3.2 Extrapolação dos resultados

Para o cálculo da extrapolação dos resultados foi utilizado um edifício-exemplo de cinco pavimentos, sendo cada um com 175 m² (totalizando quatro apartamentos de 40 m² cada e 15 m² de hall). A área total da edificação será de 875 m², e adotando o mesmo parâmetro de consumo de concreto (0,23 m³/ m²) haverá um total de concreto de 201,25 m³. Tendo isso, o parâmetro de emissão de gás carbônico de todo o inventário foi recalculado no sentido de nortear futuros estudos para a utilização dos dados no presente trabalho. O resultado está descrito no Quadro 8.

Quadro 8 – Extrapolação de dados para o edifício-exemplo

Etapas	Resultado do ICV (kg de CO₂/m² edificação)	Resultado da extrapolação (kg de CO₂)
1	1,23E-01	1,07E+02
2	8,80E-03	7,70E+00
5	4,85E-02	4,25E+01
6	5,30E-03	4,64E+00
8	6,52E-01	5,70E+02

A partir dos valores apresentados no Quadro 8 é possível afirmar que a emissão de CO₂ não ocorre em todas as etapas. Observa-se também que os valores calculados apresentam os dados totais de emissão de CO₂ e não por m² de edificação. Vale salientar ainda que esses resultados devem ser utilizados com os mesmos critérios adotados no presente estudo.

De acordo com Stripple (2001), a geração de gás carbônico no ciclo de vida da brita é de $1,42 \cdot 10^{-3}$ kg de CO₂/kg de brita. Considerando os dados do presente estudo o valor encontrado foi de $1,68 \cdot 10^{-3}$ kg de CO₂/kg de brita. Esse dado é importante para caracterizar a similaridade do estudo, principalmente quanto a ordem de grandeza dessa substância.

6.4 Interpretação

A interpretação foi realizada nas três fases que se seguem: verificação de completeza, sensibilidade e consistência. Vale salientar que essas verificações são mais amplamente empregadas em estudos comparativos.

6.4.1 Verificação de completeza

Essa verificação foi empírica e baseada na verificação de alguns parâmetros importantes, como: emissões, energia, recursos, resíduos, etc. No presente estudo, todos esses parâmetros foram abrangidos, sendo que houve a necessidade de aquisição de novos dados, como consta na metodologia empregada no ICV.

6.4.2 Verificação de sensibilidade

Conforme foi realizado o estudo, algumas verificações de sensibilidade foram utilizadas, porém para não tornar esse estudo exaustivo, optou-se por descrever alguns exemplos a seguir, compostos na Tabela 10.

Tabela 10 – Verificação de sensibilidade de alguns dados

Categoria	Aspecto	Dado bruto	Dado de referência	Resultado	Diferença	Sensibilidade (%)
Consumo de recursos energéticos renováveis	Energia elétrica	4,24E+03 kWh	88,8% (BRASIL, 2012, ano base 2011)	3,77E+03 kWh	1,06E+02	2,90
			86,3% (BRASIL, 2012, ano base 2012)	3,66E+03 kWh		
Aquecimento global	Metano	1,66E-02 kg	0,04 kg/kg de CO2 eq - GWP 100 anos (EDIP,1997)	1,32E-01 kg de CO2 eq	2,82E-01	212,50
			0,125 kg/kg de CO2 eq - GWP 500 anos (EDIP, 1997)	4,14E-01 kg de CO2 eq		
Formação de ozônio fotoquímico	Monóxido de carbono	5,51E+00 kg	33,33 kg/kg C2H2 – alto NOx (EDIP,1997)	1,65E-01 kg C2H2	5,50E-02	33,32
			25 kg/kg C2H2 – alto NOx (EDIP,1997)	2,20E-01 kg C2H2		

Nota-se que no primeiro caso, como o critério de corte é 5%, o dado mais antigo poderia ser utilizado, porém preferiu-se utilizar o dado mais recente. No segundo e terceiros casos, nota-se que a sensibilidade é maior que 5%, sobretudo no segundo caso, por isso, esses dados devem ser utilizados com critério, pois são altamente significativos e alterarão o resultado final.

6.4.3 Verificação de consistência

A verificação da consistência do estudo foi dada pela justificativa do uso do método EDIP 1997. Esse método é utilizado na comunidade acadêmica brasileira e internacional, devido a sua aplicabilidade e base concreta de dados matemáticos devidamente descritos. Sendo assim, por não haver um método específico brasileiro, foi utilizado esse método europeu. A verificação de consistência pautou-se na comprovação desses fatos por meio da revisão bibliográfica.

7 CONCLUSÃO

O estudo apresentou um panorama geral do ciclo de vida da brita, de forma a mostrar qualitativamente e quantitativamente os principais impactos relativos às etapas do sistema de produto em questão. É importante destacar que a alteração da qualidade do solo, incluindo o impacto visual são importantes, entretanto não foram analisados por não constarem como categorias de impacto no método EDIP 1997 utilizado.

A realização da ICV e da AICV da brita demonstrou a aplicação dos indicadores quantitativos de impacto ambiental, constantes no método EDIP e ampliados por meio da adição das categorias de Consumo de recursos energéticos, de todas as etapas do ciclo de vida, a saber: extração, beneficiamento, armazenagem, transporte, uso e disposição final.

Para a quantificação desses impactos foram identificadas as principais entradas e saídas do sistema de produto, e por meio da normalização e realização do diagrama de Pareto elencou-se as etapas críticas do ciclo de vida da brita. Os principais impactos obtidos foram: Toxicidade humana (solo), Acidificação, Eutrofização e Aquecimento Global.

Como são poucos os estudos de ACV voltados estritamente para a brita, os dados referentes à emissão de gás carbônico de Stripple (2001) auxiliaram na comparação dos resultados obtidos no presente estudo e demonstraram equivalência quanto à sua ordem de grandeza. Dados de Souza (2012) referentes à ACV da areia também denotaram correspondência nos valores de emissão de gases, principalmente por utilizar os mesmos parâmetros de emissão de adotados de Sheehan et al. (1998).

Como alternativas para mitigar e minimizar os impactos críticos provenientes da ACV da brita propõe-se a manutenção preventiva dos equipamentos e o investimento em tecnologias que permitam a utilização de combustíveis menos degradantes ao meio ambiente, tais como o S50, S10, biodiesel e outros biocombustíveis. Dessa forma haverá menos emissões e conseqüentemente menos impactos ao meio. Essa diminuição de emissões também pode gerar lucros, já que a utilização de projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) podem financiar esses investimentos.

Por fim, vale acrescentar que essas melhorias visam à sustentabilidade do setor, principalmente tendo em vista a ampla utilização desse material na construção civil do país. Os dados apresentados poderão auxiliar a realização de um inventário nacional de produtos que nortearão outros trabalhos de ACV e se possível, a realização de uma metodologia de AICV específica para o Brasil.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para futuros trabalhos a realização da quantificação da alteração da qualidade do solo e impacto visual para o ciclo de vida da brita, utilizando outros métodos de AICV. Além disso, pode-se utilizar os dados do presente trabalho, com critério, para a realização de outros estudos de ACV, utilizando outras unidades funcionais, porém seguindo um padrão habitacional similar ao definido pela ABNT (2005).

REFERÊNCIAS

ABCV – Associação Brasileira de Ciclo de Vida. **O que é ACV?** Disponível em: <<http://www.abcvbrasil.org.br/index.php/o-que-e-acv>>. Acesso em: 1 abr. 2013

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7211: Agregados para concreto: especificação.** Rio de janeiro, 2009a.

_____. **NBR 7225: Materiais de pedra e agregados naturais.** Rio de janeiro, 1993.

_____. **NBR 12721: Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios.** Rio de janeiro, 2005.

_____. **NBR 14037: Manual de operação, uso e manutenção das edificações: conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação.** Rio de janeiro, 1998.

_____. **NBR 14040: Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura.** Rio de janeiro, 2001.

_____. **NBR 14001: Sistemas da gestão ambiental: requisitos com orientações para uso.** Rio de janeiro, 2004.

_____. **NBR 14040: Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida, princípios e estrutura.** Rio de janeiro, 2009b.

_____. **NBR 14044: Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida, requisitos e orientações.** Rio de janeiro, 2009c.

_____. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais: desempenho, parte 1: requisitos gerais.** Rio de janeiro, 2013.

_____. **ABNT/CB38.** Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/cb38/>>. Acesso em: 14 set. 2012.

AGOPYAN, V.; SOUZA, U.E.L; PALIARI, J.C.; ANDRADE, A.C. Alternativas para redução do desperdício de materiais nos canteiros de obra. **Inovação, Gestão da Qualidade e Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional**, Porto Alegre, v. 2, p. 224-249, 2003.

ALMEIDA, J.R. **Gestão ambiental para o desenvolvimento sustentável.** 3 ed. Rio de janeiro: Thex: Almeida Cabral, 2010.

ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil. **Agregados.** 2010. Disponível em: <<http://anepac.org.br/wp/mercado/informe-estatistico/>>. Acesso em: 10 abr. 2012.

ARAUJO NETO, T.L. **Problemas gerados pela extração de rochas e propostas para mitigação do impacto sonoro.** 2006. 212 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em

Engenharia Mecânica) – Pós graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 488 p.

BESSA, S.A.L. **Utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como agregado miúdo em concretos para artefatos de infraestrutura urbana**. 2011. 181 f. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Emissões de gases de efeito estufa por fontes móveis, no setor energético**: relatório de referência. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006. 95 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética. **Balço energético nacional 2012 – ano base 2011**: resultados preliminares. Rio de Janeiro: EPE, 2012. 57 p.

BRASIL. . Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências**. Brasília, DF: Senado Federal. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 27 set. 2010.

BRAUN, S.; APPEL, L.G.; SCHMAL, M. A poluição gerada por máquinas de combustão interna movidas à diesel - a questão dos particulados, estratégias atuais para a redução e controle das emissões e tendências futuras. **Química Nova**, *online*, v. 27, n. 3, p. 472-482, 2003.

BRITANITE. **Guia de utilização de produtos**. Curitiba: Britanite, 2010. 24 p. Disponível em: < www.britanite.com.br/imagens/produtos.pdf >. Acesso em: 15 mai. 2012.

BUENO, C.; MENDES, N.C.; OMETTO, A.R.; ROSSIGNOLO, J.A. Metodologias de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV): discussão comparativa. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DO CICLO DE VIDA DE PRODUTOS E SERVIÇOS, n. 3, 2012, Maringá. **Anais...**Maringá: ABCV, 2012. 6 p.

CAPRA, F. **A teia da vida**. 9. ed. São Paulo: Cultrix, 1996. 256 p.

_____. **O ponto de mutação**. 26. ed. São Paulo: Cultrix, 2006. 448 p.

CASTELLANELLI, M.; SOUZA, S.N.M.; SILVA, S.L.; KAILER, E.K. Desempenho de motor ciclo diesel em bancada dinamométrica utilizando misturas diesel/biodiesel. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 145-153, 2008.

COSTA, M.S.V. **O enfoque de ciclo de vida como estratégia para a gestão sustentável**: um estudo de caso sobre pneus. 2007. 143 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Produção) – Programa de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Geodiversidade do Estado de São Paulo**: programa geologia do Brasil levantamento da geodiversidade. São Paulo: CPRM, 2010.

DESPEISSE, M.; BALL, P.D.; EVANS, S.; LEVERS, A. Industrial ecology at factory level: a conceptual model. **Cleaner Production**, *on line*, v. 31, p.30-39, 2012.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário mineral brasileiro**. Brasília: DNPM, 2010.

EUROPEAN COMMISSION. **ILCD Handbook**: international reference life cycle data system: general guide for life cycle assessment. 1 ed. Luxemburgo: Publications Office of the European Union, 2010a, 417 p.

_____. **ILCD Handbook**: international reference life cycle data system: framework and requirements for life cycle impact assessment models and indicators. 1 ed. Luxemburgo: Publications Office of the European Union, 2010b, 116 p.

FERREIRA, G.C.; DAITX, E.C.; DALLORA NETO, C. Impactos ambientais associados a desmonte de rocha com uso de explosivos. **Geociências**, São Paulo, v. 25, n. 4, p. 467-473, 2006.

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Impactos sociais e econômicos da regulamentação CONAMA sobre intervenção em APP sobre o setor de agregados e argilas**. São Paulo: RELTEC/MULTIGEO. 2006. Disponível em: <www.fiesp.com.br/download/mineracao.pdf>. Acesso em: 7 out.2011.

GABI – software: a product sustainability performance solution by PE INTERNATIONAL. **Gabi Education**. Disponível em: <<http://www.gabi-software.com/international/software/gabi-education/>>. Acesso em: 3 abr. 2013

GONZÁLEZ, G.C. Una revisión de los principios de la ecología industrial. **Nueva Época**, Argumentos, n.59, p.247-265, jan. 2009.

HAUSCHILD, M.; JESWIET, J.; ALTING, L. From life cycle assessment to sustainable production: status and perspectives. **CIRP Annals Manufacturing Technology**, *online*, v.54, n.2, p.1-21, 2005.

HUMBERT, S.; MARGNI, M.; JOLLIET, O. **IMPACT 2002+ method**: user guide draft for version 2.1. Lausanne: École Polytechnique Fédérale Lausanne, 2005. 40 p.

IBITC – Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. **Metodologia Padrão para Elaboração de Inventários de Ciclo de Vida da Indústria Brasileira**: documento consolidado. Brasil: IBICT, 2009.228 p.

_____. **SICV-Brasil completa seis anos de atuação**. 2012. Disponível em:<<http://www.ibict.br/sala-de-imprensa/noticias/sicv-brasil-completa-seis-anos-de-atuacao>>. Acesso em: 1 abr.2013

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e análises da economia mineral brasileira**. Brasília: IBRAM, 2010. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00001157.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2012.

_____. **Informações e análises da economia mineral brasileira**. 6 ed. Brasília: IBRAM, 2011.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: energy**, v.2. Japão: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_1_Ch1_Introduction.pdf>. Acesso em 11 mar. 2013.

JENSEN, A.A.; HOFFMAN, L.; MOLLER, B.T.; SCHMIDT, A. **Life cycle assessment: a guide to approaches, experiences and information sources**. União Européia: European Environment Agency (EEA), 1997. 119 p. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/publications/GH-07-97-595-EN-C>>. Acesso em: 24 abr. 2012.

LONGHI, C.; LOPES, D.; HIRAYAMA, T.; SALATA, R.C.; NETO, P.R.C.; ROSSI, L.F.S. Estudo de misturas de óleo diesel, biodiesel, etanol e óleo fúsel. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA, n. 26, 2004, Salvador. **Resumos...** Salvador: SBQ, 2004. 1 p.

LUZ, A.B.; ALMEIDA, S.L.M. **Manual de agregados para a construção civil**, 2 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. 411 p.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACOM, 2008. 674 p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Agregados minerais para construção civil: areia, brita e cascalho**. 2001. Disponível em: <http://www.pormin.gov.br/informacoes/arquivo/agregados_minerais_propiedades_aplicabilidade_ocorrencias.pdf>. Acesso em: 7 out. 2011.

MOUETTE, D.; FERNANDES, J.F.R. Aplicação do método de análise hierárquica (MAH) na análise e avaliação de impactos ambientais dos sistemas de transportes urbanos. **Transportes, online**, v. 4, n. 1, p.39-59, 1996.

OMETTO, A.R. **Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, exergia e emergia**. 2005. 209 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

PASSUELLO, A.C.B. **Aplicação da avaliação do ciclo de vida em embalagens descartáveis para frutas: estudo de caso**. 2007. 147 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

PEREIRA, S.W. **Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos:** aplicação de Avaliação do Ciclo de Vida. 2004. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

PETROBRAS. **Informações Técnicas – Lubrax GL 5 LS.** Disponível em:<
<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/f3d82980462871c1b4bebe0262ab2ca7/ft-lub-auto-gl5-ls.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 18 fev. 2013a.

_____. **Informações Técnicas – Lubrax Top Turbo.** Disponível em:<
<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/e113a50046264959b4f4bfb37e971e31/ft-lub-auto-caminhoes-top-turbo.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 18 fev. 2013b.

_____. **Informações Técnicas – Lubrax Turbina Plus.** Disponível em:<
<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/58f59d0046355de4aa8dae0262ab2ca7/ft-lub-ind-turbinas-lubrax-turbina-plus.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 18 fev. 2013c.

_____. **Informações Técnicas – Lubrax Turbo.** Disponível em:<
<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/a46a62804626473bb4d9bfb37e971e31/ft-lub-auto-caminhoes-turbo.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 18 fev. 2013d.

PETROLEUM HPV TESTING GROUP MEMBER COMPANY. **Gas oils category analysis document and hazard characterization.** USEPA. 1997. Disponível em
<http://www.petroleumhpv.org/docs/gas_oil/2011_aug31_Interim%20Gas%20Oils%20CAD%208_31_2011%20final.pdf> Acesso em 10 fev. 2013.

PINTO, T.P. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil:** a experiência da SindusCon-SP. São Paulo: Obra Limpa: I&T: SindusCon-SP, 2005.

RAMÍREZ, P.K.S. **Análise de métodos de alocação utilizados em Avaliação do Ciclo de Vida.** 2007. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

REIS, M.C.; BASSI, A.B.M.S. A segunda lei da termodinâmica. **Química Nova**, *online*, v.35, n.5, p.1057-1061, jan. 2012.

SANCHES, R. **A avaliação de impacto ambiental e as normas de gestão ambiental da série ISO 14000:** características técnicas, comparações e subsídios à integração. 2011. 270 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SÁNCHEZ, L.E. **Avaliação de impacto ambiental:** conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SALES, A.; PALIARI, J.C. **Apostila de concreto:** dosagem. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 1998. 8 p.

SCRIVENER, K.L.; KIRKPATRICK, R.J. Innovation in use and research on cementitious material. **Cement and Concrete Research**, *on line*, v.38, p.128-136, 2008.

SERNA, H.A.L.; REZENDE, M.M. Agregados para a construção civil. In: RODRIGUES, A.F.S. (Coord.). **Economia mineral do Brasil**. Brasília: DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral, 2009. p. 602-635.

SHAO, Y.; MIRZA, M.S.; WU, X. CO₂ sequestration using calcium-silicate concrete. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v.33, n.6, p.776-784, 2006.

SHEEHAN, J.; CAMOBRECO, V.; DUFFIELD, J.; GRABOSKI, M.; SHAPOURI, H.; **Life Cycle Inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus**. Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 1998. 314 p.

SILVA, D.A.L. **Avaliação do Ciclo de Vida da produção de painel de madeira MDP no Brasil**. 2012. 207 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SOARES, S.R.; SOUZA, D.M.; PEREIRA, S.W. In: A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. SATTLER, M.A; PEREIRA, O.R. (Eds). **Construção e meio ambiente**. Porto Alegre: ANTAC, 2006. 296 p.

SOUSA, S.R. **Normalização de critérios ambientais aplicados à avaliação do ciclo de vida**. 2008. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

SOUZA, A. **Avaliação do ciclo de vida da areia em mineradora de pequeno porte, na região de São José do Rio Preto - SP**. 2012. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

STRANDDORF, H.K; HOFFMANN, L.; SCHMIDT A. **LCA technical report: impact categories, normalization and weighting in LCA: update on selected EDIP97-data**. Dinamarca: Serietitel, 2003.

STRIPPLE, H. **Life cycle assessment of road: a pilot study for inventory analysis**. 2 ed. Suécia: IVL Swedish Environmental Research Institute. 2001.

TCPO – TABELAS DE COMPOSIÇÕES DE PREÇOS PARA ORÇAMENTOS. **Tabelas de composições de preços para orçamentos**. São Paulo: Pini, 2003. 441 p.

TANNO, L.C.; SINTONI, A. (coord.) **Mineração & município: bases para planejamento e gestão dos recursos minerais**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 2003. 194 p.

TORRES, V.F.N.; GAMA, C.D. **Engenharia ambiental subterrânea e aplicações**. Rio de Janeiro: CETEM/CYTED, 2005. 550 p.

VALVERDE, F.M. **Agregados para a construção civil**. Balanço mineral brasileiro. 2001.

Disponível em:

<<http://www.dnpm.gov.br/portal/assets/galeriaDocumento/BalancoMineral2001/agregados.pdf>>. Acesso em: 1 nov. 2011.

WEB OF KNOWLEDGE. **Discovery starts here**. Disponível em: <

http://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=1AmDb7j1kB6mn2iN25N&preferencesSaved=>. Acesso em: 27 mar. 2013.

WENZEL, H.; HAUSCHILD, M.; ALTING, L. **Environmental Assessment of Products**.

Bonten/Dordrecht/London: Kluwer Academic Publishers, 1997.v.1 e 2.

WEST CHEMICAL. **Policool Proex**: aditivo para radiadores concentrado. Disponível em: <

http://aditivoradiador.com.br/index.php?route=product/product&product_id=71>. Acesso em: 18 fev. 2013.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO NA MINERADORA

1) EXTRAÇÃO

a) Método de extração

Extração por _____

Utilizam explosivos? S () N () Se sim....Qual é o tipo? _____

E a marca? _____

Qual é a quantidade utilizada? _____ (g/m³ de brita extraída)

Há plano de fogo? S () N () Por quê? _____

No caso de outros métodos

Extração por _____

Descrição _____

b) Custo

Qual é o processo mais custoso? _____

E o menos custoso? _____

2) BENEFICIAMENTO

a) Qual é o fluxograma do processo de beneficiamento?

b) Qual é a classificação das britas produzidas?

Brita (n.º)	Faixa granulométrica (mm)	Usos	Densidade média (g/cm ³)

c) Produção

Qual é a quantidade de brita (para utilização em concretos) produzida por dia?

_____ (ton)

d) Equipamentos

Nome do equipamento _____
 Código _____
 Modelo _____
 Fabricante _____
 Dimensões _____ x _____ (m)
 Regime de trabalho _____ (h)
 Capacidade _____ (m³/h)
 Granulometria da alimentação _____ (mm)
 Granulometria do produto _____ (mm)
 Consumo de revestimento _____ (g/m³)
 Tipo de revestimento _____
 Potência _____ (CV) ou _____ (kW)
 Gasto energético _____ (L de diesel/h) ou _____ (kWh)
 Qual é o tipo de diesel utilizado? () S1800 () S500 () S50 () S10
 Razão de redução _____
 Custo aproximado do equipamento _____ (mil reais)
 Manutenção do equipamento _____ (mil reais)
 Depreciação _____ (ano)
 No caso de peneiras: Ângulo de inclinação _____ (°)
 No caso de rebritadores: Carga circulante _____ (%)
 Há certificação ambiental? S() N() Se sim.... Qual?

(repete-se esse item até a descrição total dos equipamentos)

3) TRANSPORTE

a) Extração

Há uso de escavadeiras ou retroescavadeiras? S() N()
 Em caso negativo: Como é feito o transporte na extração?

Em caso afirmativo:

Tipo _____ (E - escavadeira ou R - retroescavadeira)
 Modelo _____
 Marca _____
 Ano _____
 Capacidade _____ (m³ de brita / h)
 Consumo de combustível _____ (L de diesel / h)
 Qual é o tipo de diesel utilizado? () S1800 () S500 () S50 () S10
 Há certificação ambiental? S() N() Se sim....Qual?

b) Transporte até o beneficiamento

Há uso de caminhões? S() N()

Em caso negativo: Como é feito o transporte até o beneficiamento?

 Em caso afirmativo:

Tipo _____ (eixos/tração)

Modelo _____

Potência _____ (CV)

Marca _____

Ano _____

Capacidade _____ (m³ de brita)

Qual é a quilometragem média da extração ao beneficiamento? _____ (km)

Consumo de combustível _____ (L de diesel / km)

Qual é o tipo de diesel utilizado? () S1800 () S500 () S50 () S10

Há certificação ambiental? S() N() Se sim....Qual?

c) Transporte do beneficiamento aos caminhões

Há uso de escavadeiras ou retroescavadeiras? S() N()

Em caso negativo: Como é feito o transporte na extração? _____

Em caso afirmativo:

Tipo _____ (E - escavadeira ou R - retroescavadeira)

Modelo _____

Marca _____

Ano _____

Capacidade _____ (m³ de brita / h)

Consumo de combustível _____ (L de diesel / h)

Qual é o tipo de diesel utilizado? () S1800 () S500 () S50 () S10

Há certificação ambiental? S() N() Se sim....Qual?

d) Transporte aos centros consumidores

Há uso de caminhões? S() N()

Em caso negativo: Como é feito o transporte até os centros consumidores? _____

Em caso afirmativo:

Tipo _____ (eixos/tração)

Modelo _____

Potência _____ (CV)

Marca _____

Ano _____

Capacidade _____ (m³ de brita)

Qual é a quilometragem média da mineração aos centros consumidores? _____ (km)

Consumo de combustível _____ (L de diesel / km)

Qual é o tipo de diesel utilizado? () S1800 () S500 () S50 () S10

Há certificação ambiental? S() N() Se sim....Qual?

Qual é a distância mínima até os centros consumidores? _____ (km)

Qual é a distância máxima até os centros consumidores (consumidor mais distante)? _____ (km)

4) JAZIDA E ENTORNO

a) Qual era o antigo uso da área? _____

b) Quais foram as atividades para início da mineração? () decapamento () desmatamento () retirada de fauna () outros, especificar: _____

c) Se houve decapamento, qual foi a quantidade de material retirado? _____ (m³) ou _____ (ton)

Qual foi a destinação desse material? () aterros () armazenamento para recuperação da cava () outros, especificar: _____

d) Em qual bacia hidrográfica está inserida? _____

e) Qual é a distância até o curso d'água mais próximo? _____

f) Qual é o nível do lençol freático (n.a.)? _____

g) Qual é a vida útil da área? _____ (anos)

h) Qual é a quantidade estimada de brita na jazida? _____

i) Qual é o tamanho da área titulada? _____ (m²)

j) Qual é o tamanho da área lavrada? _____ (m²)

k) Qual é a relação estéril/minério? _____

l) O que é feito com os resíduos (estéril)? _____

5) EMISSÕES, ÁGUA E MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL)

- a) Há quantificação das emissões de gases de efeito estufa em todo o processo produtivo? S() N() Se sim...., qual a normatização utilizada? _____
- b) Há média de emissão de gás carbônico? S() N() Se sim.... Quanto? _____ (g)
- c) Em quais processos há utilização de água? _____
- d) Qual é o consumo de água? _____ (L/ton de brita produzida)
- e) Há umedificação das vias? S() N() Se sim.... Quanto é o consumo? _____ (L/dia)
- f) Há bombeamento de água pluvial da cava? S() N() Se sim.... Qual é o consumo de energia? _____ (kWh) ou _____ (L de diesel/m³ bombeado)
Qual é a potência do equipamento? _____ (CV) ou _____ (kW)
Há reuso dessa água? S() N() Se sim....especificar: _____
- g) Há alguma medida para neutralizar as emissões de gás carbônico (MDL)? S() N() Se sim....especificar: _____

6) OUTROS

- a) Há algum departamento ou setor de gestão ambiental? S() N() Se sim....Qual? _____
- b) Comentários adicionais _____
-

APÊNDICE B – CÁLCULOS PARA A OBTENÇÃO DA ICV

Processo	Entrada / Saída	Substância	Fórmula	Unidade Original	Unidade dimensional	Ajuste para 1 m ³ de brita	Ajuste para 1 m ³ de concreto	Ajuste para a quantidade total de concreto	Unidade dimensional	Ajuste para unidade funcional	Correção final para unidade funcional	Unidade dimensional	Observações
Extração	Entrada	Basalto	Basalto	4,49E+02	m3	x	x	4,40E+02	m3	1,16E+06	5,58E+02	kg/m2 edificacao	Basalto extraído
		Nitrato de amônio	NH4NO3	7,00E-01	g/m3 de brita	7,00E-01	5,85E-01	2,76E+02	g	2,76E-01	1,33E-04	kg/m2 edificacao	Explosivo
		Metileno	CH2	4,08E-02	g/m3 de brita	4,08E-02	3,41E-02	1,61E+01	g	1,61E-02	7,75E-06	kg/m2 edificacao	Explosivo
		Diesel	Hidrocarboneto	2,50E+01	L/h	1,69E-01	1,42E-01	6,68E+01	L	5,58E+01	2,69E-02	kg/m2 edificacao	Combustível da perfuratriz
		Óleo de transmissão - SAE 90	Hidrocarboneto	8,00E+00	L/dia	5,42E-03	4,53E-03	2,14E+00	L	1,93E+00	9,32E-04	kg/m2 edificacao	Óleo lubrificante
		Aditivo para radiador	Hidrocarboneto	1,50E+00	L/dia	1,02E-03	8,50E-04	4,01E-01	L	4,45E-01	2,14E-04	kg/m2 edificacao	Aditivo para radiador da escavadeira
		Diesel	Hidrocarboneto	9,07E+00	L/h	6,15E-02	5,14E-02	2,42E+01	L	2,02E+01	9,75E-03	kg/m2 edificacao	Combustível da escavadeira 954 Liebherr
		Óleo 15W40	Hidrocarboneto	1,42E+01	L/dia	9,62E-03	8,05E-03	3,79E+00	L	3,35E+00	1,61E-03	kg/m2 edificacao	Óleo lubrificante
		Óleo lubrificante - 220	Hidrocarboneto	2,00E+01	L/dia	1,36E-02	1,13E-02	5,34E+00	L	4,76E+00	2,29E-03	kg/m2 edificacao	Óleo lubrificante
	Saída	Nitrogênio	N2	2,45E-01	g/m3 de brita	2,45E-01	2,05E-01	9,66E+01	g	9,66E-02	4,66E-05	kg/m2 edificacao	Emissão do explosivo
		Gás carbônico	CO2	1,28E-01	g/m3 de brita	1,28E-01	1,07E-01	5,04E+01	g	5,04E-02	2,43E-05	kg/m2 edificacao	Emissão do explosivo
		Gás carbônico	CO2	2,80E+03	g/L de diesel	6,46E+02	5,40E+02	2,55E+05	g	2,55E+02	1,23E-01	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido na extração
		Monóxido de carbono	CO	6,05E+01	g/L de diesel	1,40E+01	1,17E+01	5,51E+03	g	5,51E+00	2,65E-03	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido na extração

Continuação

	Metano	CH4	1,82E-01	g/L de diesel	4,20E-02	3,51E-02	1,66E+01	g	1,66E-02	7,98E-06	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido na extração
	Óxido de nitrogênio	NOx	7,76E+01	g/L de diesel	1,79E+01	1,50E+01	7,06E+03	g	7,06E+00	3,40E-03	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido na extração
	Óxido nitroso	N2O	2,20E-02	g/L de diesel	5,08E-03	4,25E-03	2,00E+00	g	2,00E-03	9,65E-07	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido na extração
	Benzeno	C6H6	1,79E-04	g/L de diesel	4,14E-05	3,46E-05	1,63E-02	g	1,63E-05	7,87E-09	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido na extração
	Formaldeído	H2CO	2,40E-03	g/L de diesel	5,55E-04	4,64E-04	2,19E-01	g	2,19E-04	1,05E-07	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido na extração
	Material Particulado	MP 10	3,56E-01	g/L de diesel	8,21E-02	6,87E-02	3,24E+01	g	3,24E-02	1,56E-05	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido na extração
	Ácido clorídrico	HCl	1,34E-02	g/L de diesel	3,09E-03	2,58E-03	1,22E+00	g	1,22E-03	5,87E-07	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido na extração
	Ácido fluorídrico	HF	1,67E-03	g/L de diesel	3,87E-04	3,23E-04	1,52E-01	g	1,52E-04	7,35E-08	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido na extração
	Amônia	NH3	1,33E-07	g/L de diesel	3,08E-08	2,57E-08	1,21E-05	g	1,21E-08	5,84E-12	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido na extração
	Óxido sulfúrico	SOx	3,92E+00	g/L de diesel	9,05E-01	7,56E-01	3,56E+02	g	3,56E-01	1,72E-04	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido na extração

Continuação

		Compostos orgânicos voláteis não metanos	NM VOC	1,47E+01	g/L de diesel	3,40E+00	2,84E+00	1,34E+03	g	1,34E+00	6,46E-04	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido na extração
		Aditivo usado	Hidrocarboneto	x	L/ m3 de brita	1,02E-03	8,50E-04	4,01E-01	L	4,45E-01	2,14E-04	kg/m2 edificacao	Aditivo de descarte
		Óleo usado*	Hidrocarboneto	x	L/ m3 de brita	2,86E-02	2,39E-02	1,13E+01	L	1,01E+01	4,85E-03	kg/m2 edificacao	Óleo de descarte
Transporte ao beneficiamento	Entrada	Água	H2O	6,00E+04	L/dia	4,07E+01	3,40E+01	1,60E+04	L	1,60E+04	7,73E+00	kg/m2 edificacao	Nebulização de vias
		Aditivo para radiador	Hidrocarboneto	1,00E+00	L/dia	6,78E-04	5,67E-04	2,67E-01	L	2,96E-01	1,43E-04	kg/m2 edificacao	Aditivo para radiador do caminhão
		Diesel	Hidrocarboneto	9,30E-01	km/L	1,65E-02	1,38E-02	6,52E+00	L	5,44E+00	2,62E-03	kg/m2 edificacao	Combustível caminhão Scania VPB 373 P400
	Saída	Gás carbônico	CO2	2,80E+03	g/L de diesel	4,63E+01	3,87E+01	1,82E+04	g	1,82E+01	8,80E-03	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Monóxido de carbono	CO	6,05E+01	g/L de diesel	1,00E+00	8,37E-01	3,94E+02	g	3,94E-01	1,90E-04	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Metano	CH4	1,82E-01	g/L de diesel	3,01E-03	2,52E-03	1,19E+00	g	1,19E-03	5,72E-07	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Óxido de nitrogênio	NOx	7,76E+01	g/L de diesel	1,28E+00	1,07E+00	5,06E+02	g	5,06E-01	2,44E-04	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Óxido nitroso	N2O	2,20E-02	g/L de diesel	3,64E-04	3,04E-04	1,43E-01	g	1,43E-04	6,91E-08	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Benzeno	C6H6	1,79E-04	g/L de diesel	2,97E-06	2,48E-06	1,17E-03	g	1,17E-06	5,64E-10	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte

Continuação

		Formaldeído	H2CO	2,40E-03	g/L de diesel	3,97E-05	3,32E-05	1,57E-02	g	1,57E-05	7,55E-09	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Material Particulado	MP 10	3,56E-01	g/L de diesel	5,88E-03	4,92E-03	2,32E+00	g	2,32E-03	1,12E-06	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Ácido clorídrico	HCl	1,34E-02	g/L de diesel	2,21E-04	1,85E-04	8,72E-02	g	8,72E-05	4,21E-08	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Ácido fluorídrico	HF	1,67E-03	g/L de diesel	2,77E-05	2,32E-05	1,09E-02	g	1,09E-05	5,26E-09	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Amônia	NH3	1,33E-07	g/L de diesel	2,20E-09	1,84E-09	8,68E-07	g	8,68E-10	4,19E-13	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Óxido sulfúrico	SOx	3,92E+00	g/L de diesel	6,48E-02	5,42E-02	2,55E+01	g	2,55E-02	1,23E-05	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Compostos orgânicos voláteis não metanos	NM VOC	1,47E+01	g/L de diesel	2,44E-01	2,04E-01	9,60E+01	g	9,60E-02	4,63E-05	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Naftalenos							g	1,91E-01	9,19E-05	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Aditivo usado	Hidrocarboneto	x	L/ m3 de brita	6,78E-04	5,67E-04	2,67E-01	L	2,96E-01	1,43E-04	kg/m2 edificacao	Aditivo de descarte
Beneficiamento	Entrada	Água	H2O	1,00E+04	L/dia	6,78E+00	5,67E+00	2,67E+03	L	2,67E+03	1,29E+00	kg/m2 edificacao	Beneficiamento da brita
		Aditivo para radiador	Hidrocarboneto	1,00E+00	L/dia	6,78E-04	5,67E-04	2,67E-01	L	2,96E-01	1,43E-04	kg/m2 edificacao	Aditivo para radiador - britagem
		Óleo 15W40	Hidrocarboneto	2,71E+01	L/dia	1,84E-02	1,53E-02	7,23E+00	L	6,39E+00	3,08E-03	kg/m2 edificacao	Óleo - britagem

Continuação

		Óleo T50	Hidrocarboneto	3,95E+01	L/dia	2,68E-02	2,24E-02	1,06E+01	L	9,49E+00	4,58E-03	kg/m2 edificacao	Óleo - britagem
		Óleo 85W140	Hidrocarboneto	4,00E+00	L/dia	2,71E-03	2,27E-03	1,07E+00	L	9,72E-01	4,69E-04	kg/m2 edificacao	Óleo - britagem
		Óleo 90 LS	Hidrocarboneto	1,29E+02	L/dia	8,74E-02	7,31E-02	3,45E+01	L	3,12E+01	1,50E-02	kg/m2 edificacao	Óleo - britagem
		Óleo AT	Hidrocarboneto	2,00E+00	L/dia	1,36E-03	1,13E-03	5,34E-01	L	4,77E-01	2,30E-04	kg/m2 edificacao	Óleo - britagem
		Óleo SAE 90	Hidrocarboneto	6,00E+00	L/dia	4,07E-03	3,40E-03	1,60E+00	L	1,45E+00	6,99E-04	kg/m2 edificacao	Óleo - britagem
		Energia elétrica	Energia elétrica	1,08E+01	kWh/m3 brita	1,08E+01	9,00E+00	4,24E+03	kWh	4,24E+03	2,05E+00	kWh/m2 edificacao	Energia elétrica
Saída	Óleo usado*	Hidrocarboneto	x	L/ m3 de brita	x	x	5,54E+01	L	5,00E+01	2,41E-02	kg/m2 edificacao	Óleo de descarte	
	Aditivo usado	Hidrocarboneto	x	L/ m3 de brita	x	x	2,67E-01	L	2,96E-01	1,43E-04	kg/m2 edificacao	Aditivo de descarte	
Armazenagem	Entrada	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	kg/m2 edificacao	x
	Saída	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	kg/m2 edificacao	x
Transporte do beneficiamento aos caminhões	Entrada	Diesel	Hidrocarboneto	1,35E+01	L/h	9,13E-02	7,63E-02	3,60E+01	L	3,00E+01	1,45E-02	kg/m2 edificacao	Combustível da pá carregadeira - Caterpillar 950 F - Série II
	Saída	Gás carbônico	CO2	2,80E+03	g/L de diesel	2,56E+02	2,14E+02	1,01E+05	g	1,01E+02	4,85E-02	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Monóxido de carbono	CO	6,05E+01	g/L de diesel	5,52E+00	4,62E+00	2,18E+03	g	2,18E+00	1,05E-03	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Metano	CH4	1,82E-01	g/L de diesel	1,66E-02	1,39E-02	6,55E+00	g	6,55E-03	3,16E-06	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Óxido de nitrogênio	NOx	7,76E+01	g/L de diesel	7,08E+00	5,92E+00	2,79E+03	g	2,79E+00	1,35E-03	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte

Continuação

		Óxido nitroso	N2O	2,20E-02	g/L de diesel	2,01E-03	1,68E-03	7,91E-01	g	7,91E-04	3,82E-07	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Benzeno	C6H6	1,79E-04	g/L de diesel	1,64E-05	1,37E-05	6,45E-03	g	6,45E-06	3,11E-09	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Formaldeído	H2CO	2,40E-03	g/L de diesel	2,19E-04	1,83E-04	8,64E-02	g	8,64E-05	4,17E-08	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Material Particulado	MP 10	3,56E-01	g/L de diesel	3,25E-02	2,71E-02	1,28E+01	g	1,28E-02	6,17E-06	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Ácido clorídrico	HCl	1,34E-02	g/L de diesel	1,22E-03	1,02E-03	4,81E-01	g	4,81E-04	2,32E-07	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Ácido fluorídrico	HF	1,67E-03	g/L de diesel	1,53E-04	1,28E-04	6,03E-02	g	6,03E-05	2,90E-08	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Amônia	NH3	1,33E-07	g/L de diesel	1,22E-08	1,02E-08	4,79E-06	g	4,79E-09	2,31E-12	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Óxido sulfúrico	SOx	3,92E+00	g/L de diesel	3,58E-01	2,99E-01	1,41E+02	g	1,41E-01	6,79E-05	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Compostos orgânicos voláteis não metanos	NMVOC	1,47E+01	g/L de diesel	1,34E+00	1,12E+00	5,30E+02	g	5,30E-01	2,55E-04	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
Transporte aos centros consumidores	Entrada	Diesel	Hidrocarboneto	3,40E+00	km/L de diesel	9,97E-03	8,33E-03	3,93E+00	L	3,28E+00	1,58E-03	kg/m2 edificacao	Combustível do caminhão Mercedes 250 CV

Continuação

Saída	Gás carbônico	CO2	2,80E+03	g/L de diesel	2,79E+01	2,33E+01	1,10E+04	g	1,10E+01	5,30E-03	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
	Monóxido de carbono	CO	6,05E+01	g/L de diesel	6,03E-01	5,04E-01	2,38E+02	g	2,38E-01	1,15E-04	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
	Metano	CH4	1,82E-01	g/L de diesel	1,81E-03	1,52E-03	7,15E-01	g	7,15E-04	3,45E-07	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
	Óxido de nitrogênio	NOx	7,76E+01	g/L de diesel	7,73E-01	6,47E-01	3,05E+02	g	3,05E-01	1,47E-04	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
	Óxido nitroso	N2O	2,20E-02	g/L de diesel	2,19E-04	1,83E-04	8,64E-02	g	8,64E-05	4,17E-08	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
	Benzeno	C6H6	1,79E-04	g/L de diesel	1,79E-06	1,49E-06	7,04E-04	g	7,04E-07	3,40E-10	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
	Formaldeído	H2CO	2,40E-03	g/L de diesel	2,39E-05	2,00E-05	9,43E-03	g	9,43E-06	4,55E-09	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
	Material Particulado	MP 10	3,56E-01	g/L de diesel	3,54E-03	2,96E-03	1,40E+00	g	1,40E-03	6,73E-07	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
	Ácido clorídrico	HCl	1,34E-02	g/L de diesel	1,33E-04	1,11E-04	5,26E-02	g	5,26E-05	2,53E-08	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
	Ácido fluorídrico	HF	1,67E-03	g/L de diesel	1,67E-05	1,40E-05	6,58E-03	g	6,58E-06	3,17E-09	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte

Continuação

		Amônia	NH3	1,33E-07	g/L de diesel	1,33E-09	1,11E-09	5,23E-07	g	5,23E-10	2,52E-13	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Óxido sulfúrico	SOx	3,92E+00	g/L de diesel	3,90E-02	3,26E-02	1,54E+01	g	1,54E-02	7,42E-06	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Compostos orgânicos voláteis não metanos	NMVOC	1,47E+01	g/L de diesel	1,47E-01	1,23E-01	5,78E+01	g	5,78E-02	2,79E-05	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
Uso	Entrada	Água	H2O	2,80E+02	L/m3 de concreto	2,34E+02	2,34E+02	1,10E+05	L	1,10E+05	5,32E+01	kg/m2 edificacao	x
		Energia elétrica	Energia elétrica	1,56E+00	kWh/m3 de concreto	1,30E+00	1,30E+00	6,15E+02	kWh	6,15E+02	2,96E-01	kWh/m2 edificacao	
	Saída	Resíduos de construção civil	RCC	1,40E+01	% da perda de concreto	x	x	4,61E+01	m3	1,21E+05	7,81E+01	kg/m2 edificacao	Desperdícios na obra e na reforma
Disposição final	Entrada	Diesel	Hidrocarboneto	3,40E+00	km/L de diesel	x	1,23E+00	5,39E+02	L	4,50E+02	1,94E-01	kg/m2 edificacao	Combustível do caminhão para destinação final
		Resíduos de construção civil	RCC	1,00E+02	% demolição	x	x	4,40E+02	m3	1,16E+06	4,80E+02	kg/m2 edificacao	Volume total de concreto levado ao aterro
	Saída	Gás carbônico	CO2	2,80E+03	g/L de diesel	x	3,43E+03	1,51E+06	g	1,51E+03	6,52E-01	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Monóxido de carbono	CO	6,05E+01	g/L de diesel	x	7,41E+01	3,26E+04	g	3,26E+01	1,41E-02	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Metano	CH4	1,82E-01	g/L de diesel	x	2,23E-01	9,82E+01	g	9,82E-02	4,24E-05	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Óxido de nitrogênio	NOx	7,76E+01	g/L de diesel	x	9,51E+01	4,19E+04	g	4,19E+01	1,81E-02	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte

Continuação

		Óxido nitroso	N2O	2,20E-02	g/L de diesel	x	2,70E-02	1,19E+01	g	1,19E-02	5,12E-06	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Benzeno	C6H6	1,79E-04	g/L de diesel	x	2,20E-04	9,67E-02	g	9,67E-05	4,18E-08	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Formaldeído	H2CO	2,40E-03	g/L de diesel	x	2,94E-03	1,30E+00	g	1,30E-03	5,59E-07	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Material Particulado	MP 10	3,56E-01	g/L de diesel	x	4,36E-01	1,92E+02	g	1,92E-01	8,28E-05	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Ácido clorídrico	HCl	1,34E-02	g/L de diesel	x	1,64E-02	7,22E+00	g	7,22E-03	3,12E-06	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Ácido fluorídrico	HF	1,67E-03	g/L de diesel	x	2,05E-03	9,03E-01	g	9,03E-04	3,90E-07	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Amônia	NH3	1,33E-07	g/L de diesel	x	1,63E-07	7,19E-05	g	7,19E-08	3,10E-11	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Óxido sulfúrico	SOx	3,92E+00	g/L de diesel	x	4,80E+00	2,11E+03	g	2,11E+00	9,12E-04	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte
		Compostos orgânicos voláteis não metanos	NMVOC	1,47E+01	g/L de diesel	x	1,80E+01	7,94E+03	g	7,94E+00	3,43E-03	kg/m2 edificacao	Emissões do diesel total consumido no transporte

APÊNDICE C – CÁLCULOS PARA A OBTENÇÃO DA AICV

Fórmula	Unidade funcional	Unidade dimensional	Classificação	Fator de caracterização	Caracterização	Unidade por m ² de edificação
Basalto	5,58E+02	kg/m2 edificação	Consumo de recursos materiais não renováveis	calculado	5,58E+02	kg
NH4NO3	1,33E-04	kg/m2 edificação	Eutrofização	1,00E+00	1,33E-04	kg NO3 eq
CH2	7,75E-06	kg/m2 edificação	Formação de ozônio fotoquímico	1,00E+02	7,75E-08	kg C2H2 eq
Energia	7,25E-02	kWh/m2 edificação	Consumo de recursos energéticos não renováveis	calculado	7,25E-02	kWh
Hidrocarboneto	2,69E-02	kg/m2 edificação	Consumo de recursos materiais não renováveis	1,00E+00	2,69E-02	kg CO2 eq
Hidrocarboneto	9,32E-04	kg/m2 edificação	Consumo de recursos materiais não renováveis	1,00E+00	9,32E-04	kg CO2 eq
Hidrocarboneto	2,14E-04	kg/m2 edificação	Consumo de recursos materiais não renováveis	1,00E+00	2,14E-04	kg CO2 eq
Energia	2,63E-02	kWh/m2 edificação	Consumo de recursos energéticos não renováveis	calculado	2,63E-02	kWh
Hidrocarboneto	9,75E-03	kg/m2 edificação	Consumo de recursos materiais não renováveis	1,00E+00	9,75E-03	kg CO2 eq
Hidrocarboneto	1,61E-03	kg/m2 edificação	Consumo de recursos materiais não renováveis	1,00E+00	1,61E-03	kg CO2 eq
Hidrocarboneto	2,29E-03	kg/m2 edificação	Consumo de recursos materiais não renováveis	1,00E+00	2,29E-03	kg CO2 eq
N2	4,66E-05	kg/m2 edificação	Eutrofização	7,41E-01	6,28E-05	kg de NO3 eq
CO2	2,43E-05	kg/m2 edificação	Aquecimento global	1,00E+00	2,43E-05	kg CO2 eq
CO2	1,23E-01	kg/m2 edificação	Aquecimento global	1,00E+00	1,23E-01	kg CO2 eq
CO	2,65E-03	kg/m2 edificação	Aquecimento global	5,00E-01	5,31E-03	kg CO2 eq
			Formação de ozônio fotoquímico	3,33E+01	7,96E-05	kg C2H2 eq
			Toxicidade humana (ar)	1,20E-06	2,21E+03	m3 de ar
CH4	7,98E-06	kg/m2 edificação	Formação de ozônio fotoquímico	1,43E+02	5,59E-08	kg C2H2 eq
			Aquecimento global	4,00E-02	2,00E-04	kg CO2 eq
NOx	3,40E-03	kg/m2 edificação	Eutrofização	7,41E-01	4,60E-03	kg NO3 eq
			Acidificação	1,43E+00	2,38E-03	kg SO2 eq
			Toxicidade humana (ar)	1,16E-07	2,93E+04	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	1,35E+02	2,53E-05	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	3,42E-01	9,97E-03	m3 de solo

Continuação

N2O	9,65E-07	kg/m2 edificacao	Aquecimento global	3,13E-03	3,09E-04	kg CO2 eq
			Eutrofização	3,55E-01	2,72E-06	kg de NO3 eq
			Toxicidade humana (ar)	5,00E-07	1,93E+00	m3 de ar
C6H6	7,87E-09	kg/m2 edificacao	Formação de ozônio fotoquímico	5,00E+00	1,57E-09	kg C2H2 eq
			Toxicidade humana (ar)	1,00E-10	7,87E+01	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	4,44E-04	1,77E-05	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	6,90E-05	1,14E-04	m3 de solo
			Ecotoxicidade aguda (água)	1,00E-04	7,87E-05	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (água)	2,50E-04	3,15E-05	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (solo)	2,78E-04	2,83E-05	m3 de solo
H2CO	1,05E-07	kg/m2 edificacao	Formação de ozônio fotoquímico	2,50E+00	4,22E-08	kg C2H2 eq
			Toxicidade humana (ar)	8,00E-11	1,32E+03	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	9,03E+00	1,17E-08	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	1,73E-01	6,08E-07	m3 de solo
			Ecotoxicidade aguda (água)	1,67E-05	6,31E-03	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (água)	4,18E-05	2,52E-03	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (solo)	4,93E-06	2,14E-02	m3 de solo
MP 10	1,56E-05	kg/m2 edificacao	Toxicidade humana (ar)	5,00E-08	3,12E+02	m3 de ar
HCl	5,87E-07	kg/m2 edificacao	Acidificação	1,14E+00	5,17E-07	kg SO2 eq
HF	7,35E-08	kg/m2 edificacao	Acidificação	6,25E-01	1,18E-07	kg SO2 eq
NH3	5,84E-12	kg/m2 edificacao	Eutrofização	2,75E-01	2,13E-11	kg de NO3 eq
			Acidificação	5,32E-01	1,10E-11	kg SO2 eq
SOx	1,72E-04	kg/m2 edificacao	Acidificação	1,54E+00	1,12E-04	kg SO2 eq
			Toxicidade humana (ar)	7,80E-07	2,20E+02	m3 de ar

Continuação

NMVOC	6,46E-04	kg/m2 edificacao	Ecotoxicidade crônica (solo)	1,67E-01	3,88E-03	m3 de solo
			Ecotoxicidade crônica (água)	1,24E+00	5,23E-04	m3 de água
			Toxicidade humana (ar)	1,65E-04	3,91E+00	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	1,35E+04	4,80E-08	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	8,86E+01	7,29E-06	m3 de solo
			Aquecimento global	6,67E-01	9,69E-04	kg CO2 eq
			Formação de ozônio fotoquímico	4,64E+02	1,39E-06	kg C2H2 eq
Hidrocarboneto	2,14E-04	kg/m2 edificacao	Resíduos perigosos	calculado	2,14E-04	kg
Hidrocarboneto	4,85E-03	kg/m2 edificacao	Resíduos perigosos	calculado	4,85E-03	kg
H2O	7,73E+00	kg/m2 edificacao	Consumo de recursos materiais renováveis	calculado	7,73E+00	kg
Hidrocarboneto	1,43E-04	kg/m2 edificacao	Aquecimento global	1,00E+00	1,43E-04	kg CO2 eq
Energia	7,07E-03	kWh/m2 edificacao	Consumo de recursos energéticos não renováveis	calculado	7,07E-03	kWh
Hidrocarboneto	2,62E-03	kg/m2 edificacao	Consumo de recursos materiais não renováveis	1,00E+00	2,62E-03	kg CO2 eq
CO2	8,80E-03	kg/m2 edificacao	Aquecimento global	1,00E+00	8,80E-03	kg CO2 eq
CO	1,90E-04	kg/m2 edificacao	Aquecimento global	5,00E-01	3,80E-04	kg CO2 eq
			Formação de ozônio fotoquímico	3,33E+01	5,70E-06	kg C2H2 eq
			Toxicidade humana (ar)	1,20E-06	1,58E+02	m3 de ar
CH4	5,72E-07	kg/m2 edificacao	Formação de ozônio fotoquímico	1,43E+02	4,00E-09	kg C2H2 eq
			Aquecimento global	4,00E-02	1,43E-05	kg CO2 eq
NOx	2,44E-04	kg/m2 edificacao	Eutrofização	7,41E-01	3,29E-04	kg NO3 eq
			Acidificação	1,43E+00	1,71E-04	kg SO2 eq
			Toxicidade humana (ar)	1,16E-07	2,10E+03	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	1,35E+02	1,81E-06	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	3,42E-01	7,14E-04	m3 de solo

Continuação

N2O	6,91E-08	kg/m2 edificacao	Aquecimento global	3,13E-03	2,21E-05	kg CO2 eq
			Eutrofização	3,55E-01	1,95E-07	kg de NO3 eq
			Toxicidade humana (ar)	5,00E-07	1,38E-01	m3 de ar
C6H6	5,64E-10	kg/m2 edificacao	Formação de ozônio fotoquímico	5,00E+00	1,13E-10	kg C2H2 eq
			Toxicidade humana (ar)	1,00E-10	5,64E+00	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	4,44E-04	1,27E-06	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	6,90E-05	8,17E-06	m3 de solo
			Ecotoxicidade aguda (água)	1,00E-04	5,64E-06	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (água)	2,50E-04	2,25E-06	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (solo)	2,78E-04	2,03E-06	m3 de solo
H2CO	7,55E-09	kg/m2 edificacao	Formação de ozônio fotoquímico	2,50E+00	3,02E-09	kg C2H2 eq
			Toxicidade humana (ar)	8,00E-11	9,44E+01	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	9,03E+00	8,36E-10	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	1,73E-01	4,35E-08	m3 de solo
			Ecotoxicidade aguda (água)	1,67E-05	4,52E-04	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (água)	4,18E-05	1,81E-04	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (solo)	4,93E-06	1,53E-03	m3 de solo
MP 10	1,12E-06	kg/m2 edificacao	Toxicidade humana (ar)	5,00E-08	2,24E+01	m3 de ar
HCl	4,21E-08	kg/m2 edificacao	Acidificação	1,14E+00	3,70E-08	kg SO2 eq
HF	5,26E-09	kg/m2 edificacao	Acidificação	6,25E-01	8,42E-09	kg SO2 eq
NH3	4,19E-13	kg/m2 edificacao	Eutrofização	2,75E-01	1,52E-12	kg de NO3 eq
			Acidificação	5,32E-01	7,87E-13	kg SO2 eq
SOx	1,23E-05	kg/m2 edificacao	Acidificação	1,54E+00	8,00E-06	kg SO2 eq
			Toxicidade humana (ar)	7,80E-07	1,58E+01	m3 de ar

Continuação

NMVOC	4,63E-05	kg/m2 edificacao	Ecotoxicidade crônica (solo)	1,67E-01	2,78E-04	m3 de solo
			Ecotoxicidade crônica (água)	1,24E+00	3,74E-05	m3 de água
			Toxicidade humana (ar)	1,65E-04	2,80E-01	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	1,35E+04	3,44E-09	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	8,86E+01	5,22E-07	m3 de solo
			Aquecimento global	6,67E-01	6,94E-05	kg CO2 eq
			Formação de ozônio fotoquímico	4,64E+02	9,97E-08	kg C2H2 eq
Hidrocarboneto	1,43E-04	kg/m2 edificacao	Resíduos perigosos	calculado	1,43E-04	kg
H2O	1,29E+00	kg/m2 edificacao	Consumo de recursos materiais renováveis	calculado	1,29E+00	kg
Hidrocarboneto	1,43E-04	kg/m2 edificacao	Consumo de recursos materiais não renováveis	1,00E+00	1,43E-04	kg CO2 eq
Hidrocarboneto	3,08E-03	kg/m2 edificacao	Consumo de recursos materiais não renováveis	1,00E+00	3,08E-03	kg CO2 eq
Hidrocarboneto	4,58E-03	kg/m2 edificacao	Consumo de recursos materiais não renováveis	1,00E+00	4,58E-03	kg CO2 eq
Hidrocarboneto	4,69E-04	kg/m2 edificacao	Consumo de recursos materiais não renováveis	1,00E+00	4,69E-04	kg CO2 eq
Hidrocarboneto	1,50E-02	kg/m2 edificacao	Consumo de recursos materiais não renováveis	1,00E+00	1,50E-02	kg CO2 eq
Hidrocarboneto	2,30E-04	kg/m2 edificacao	Consumo de recursos materiais não renováveis	1,00E+00	2,30E-04	kg CO2 eq
Hidrocarboneto	6,99E-04	kg/m2 edificacao	Consumo de recursos materiais não renováveis	1,00E+00	6,99E-04	kg CO2 eq
Energia elétrica	2,05E+00	kWh/m2 edificacao	Consumo de recursos energéticos renováveis	calculado	1,82E+00	kWh
			Consumo de recursos energéticos não renováveis	calculado	2,29E-01	kWh
Hidrocarboneto	2,41E-02	kg/m2 edificacao	Resíduos perigosos	calculado	2,41E-02	kg
Hidrocarboneto	1,43E-04	kg/m2 edificacao	Resíduos perigosos	calculado	1,43E-04	kg
x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x
Energia	4,57E-02	kWh/m2 edificacao	Consumo de recursos energéticos não renováveis	calculado	4,57E-02	kWh
Hidrocarboneto	1,45E-02	kg/m2 edificacao	Consumo de recursos materiais não renováveis	1,00E+00	1,45E-02	kg CO2 eq
CO2	4,85E-02	kg/m2 edificacao	Aquecimento global	1,00E+00	4,85E-02	kg CO2 eq

Continuação

CO	1,05E-03	kg/m2 edificacao	Aquecimento global	5,00E-01	2,10E-03	kg CO2 eq
			Formação de ozônio fotoquímico	3,33E+01	3,15E-05	kg C2H2 eq
			Toxicidade humana (ar)	1,20E-06	8,74E+02	m3 de ar
CH4	3,16E-06	kg/m2 edificacao	Formação de ozônio fotoquímico	1,43E+02	2,21E-08	kg C2H2 eq
			Aquecimento global	4,00E-02	7,89E-05	kg CO2 eq
NOx	1,35E-03	kg/m2 edificacao	Eutrofização	7,41E-01	1,82E-03	kg NO3 eq
			Acidificação	1,43E+00	9,42E-04	kg SO2 eq
			Toxicidade humana (ar)	1,16E-07	1,16E+04	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	1,35E+02	9,99E-06	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	3,42E-01	3,94E-03	m3 de solo
N2O	3,82E-07	kg/m2 edificacao	Aquecimento global	3,13E-03	1,22E-04	kg CO2 eq
			Eutrofização	3,55E-01	1,08E-06	kg de NO3 eq
			Toxicidade humana (ar)	5,00E-07	7,63E-01	m3 de ar
C6H6	3,11E-09	kg/m2 edificacao	Formação de ozônio fotoquímico	5,00E+00	6,22E-10	kg C2H2 eq
			Toxicidade humana (ar)	1,00E-10	3,11E+01	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	4,44E-04	7,00E-06	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	6,90E-05	4,51E-05	m3 de solo
			Ecotoxicidade aguda (água)	1,00E-04	3,11E-05	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (água)	2,50E-04	1,24E-05	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (solo)	2,78E-04	1,12E-05	m3 de solo

Continuação

H2CO	4,17E-08	kg/m2 edificacao	Formação de ozônio fotoquímico	2,50E+00	1,67E-08	kg C2H2 eq
			Toxicidade humana (ar)	8,00E-11	5,21E+02	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	9,03E+00	4,61E-09	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	1,73E-01	2,40E-07	m3 de solo
			Ecotoxicidade aguda (água)	1,67E-05	2,49E-03	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (água)	4,18E-05	9,98E-04	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (solo)	4,93E-06	8,45E-03	m3 de solo
MP 10	6,17E-06	kg/m2 edificacao	Toxicidade humana (ar)	5,00E-08	1,23E+02	m3 de ar
HCl	2,32E-07	kg/m2 edificacao	Acidificação	1,14E+00	5,43E-06	kg SO2 eq
HF	2,90E-08	kg/m2 edificacao	Acidificação	6,25E-01	9,87E-06	kg SO2 eq
NH3	2,31E-12	kg/m2 edificacao	Eutrofização	2,75E-01	8,41E-12	kg de NO3 eq
			Acidificação	5,32E-01	4,34E-12	kg SO2 eq
SOx	6,79E-05	kg/m2 edificacao	Acidificação	1,54E+00	4,42E-05	kg SO2 eq
			Toxicidade humana (ar)	7,80E-07	8,71E+01	m3 de ar
NMVOC	2,55E-04	kg/m2 edificacao	Ecotoxicidade crônica (solo)	1,67E-01	1,53E-03	m3 de solo
			Ecotoxicidade crônica (água)	1,24E+00	2,07E-04	m3 de água
			Toxicidade humana (ar)	1,65E-04	1,55E+00	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	1,35E+04	1,90E-08	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	8,86E+01	2,88E-06	m3 de solo
			Aquecimento global	6,67E-01	3,83E-04	kg CO2 eq
			Formação de ozônio fotoquímico	4,64E+02	5,50E-07	kg C2H2 eq
Energia	4,99E-03	kWh/m2 edificacao	Consumo de recursos energéticos não renováveis	calculado	4,99E-03	kWh
Hidrocarboneto	1,58E-03	kg/m2 edificacao	Consumo de recursos materiais não renováveis	1,00E+00	1,58E-03	kg CO2 eq
CO2	5,30E-03	kg/m2 edificacao	Aquecimento global	1,00E+00	5,30E-03	kg CO2 eq

Continuação

CO	1,15E-04	kg/m2 edificacao	Aquecimento global	5,00E-01	2,29E-04	kg CO2 eq
			Formação de ozônio fotoquímico	3,33E+01	3,44E-06	kg C2H2 eq
			Toxicidade humana (ar)	1,20E-06	9,55E+01	m3 de ar
CH4	3,45E-07	kg/m2 edificacao	Formação de ozônio fotoquímico	1,43E+02	2,41E-09	kg C2H2 eq
			Aquecimento global	4,00E-02	8,62E-06	kg CO2 eq
NOx	1,47E-04	kg/m2 edificacao	Eutrofização	7,41E-01	1,98E-04	kg NO3 eq
			Acidificação	1,43E+00	1,03E-04	kg SO2 eq
			Toxicidade humana (ar)	1,16E-07	1,27E+03	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	1,35E+02	1,09E-06	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	3,42E-01	4,30E-04	m3 de solo
N2O	4,17E-08	kg/m2 edificacao	Aquecimento global	3,13E-03	1,33E-05	kg CO2 eq
			Eutrofização	3,55E-01	1,17E-07	kg de NO3 eq
			Toxicidade humana (ar)	5,00E-07	8,33E-02	m3 de ar
C6H6	3,40E-10	kg/m2 edificacao	Formação de ozônio fotoquímico	5,00E+00	6,79E-11	kg C2H2 eq
			Toxicidade humana (ar)	1,00E-10	3,40E+00	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	4,44E-04	7,65E-07	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	6,90E-05	4,92E-06	m3 de solo
			Ecotoxicidade aguda (água)	1,00E-04	3,40E-06	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (água)	2,50E-04	1,36E-06	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (solo)	2,78E-04	1,22E-06	m3 de solo

Continuação

H2CO	4,55E-09	kg/m2 edificacao	Formação de ozônio fotoquímico	2,50E+00	1,82E-09	kg C2H2 eq
			Toxicidade humana (ar)	8,00E-11	5,69E+01	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	9,03E+00	5,04E-10	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	1,73E-01	2,62E-08	m3 de solo
			Ecotoxicidade aguda (água)	1,67E-05	2,72E-04	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (água)	4,18E-05	1,09E-04	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (solo)	4,93E-06	9,23E-04	m3 de solo
MP 10	6,73E-07	kg/m2 edificacao	Toxicidade humana (ar)	5,00E-08	1,35E+01	m3 de ar
HCl	2,53E-08	kg/m2 edificacao	Acidificação	1,14E+00	2,23E-08	kg SO2 eq
HF	3,17E-09	kg/m2 edificacao	Acidificação	6,25E-01	5,07E-09	kg SO2 eq
NH3	2,52E-13	kg/m2 edificacao	Eutrofização	2,75E-01	9,18E-13	kg de NO3 eq
			Acidificação	5,32E-01	4,74E-13	kg SO2 eq
SOx	7,42E-06	kg/m2 edificacao	Acidificação	1,54E+00	4,82E-06	kg SO2 eq
			Toxicidade humana (ar)	7,80E-07	9,51E+00	m3 de ar
NMVOC	2,79E-05	kg/m2 edificacao	Ecotoxicidade crônica (solo)	1,67E-01	1,67E-04	m3 de solo
			Ecotoxicidade crônica (água)	1,24E+00	2,26E-05	m3 de água
			Toxicidade humana (ar)	1,65E-04	1,69E-01	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	1,35E+04	2,07E-09	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	8,86E+01	3,15E-07	m3 de solo
			Aquecimento global	6,67E-01	4,18E-05	kg CO2 eq
			Formação de ozônio fotoquímico	4,64E+02	6,01E-08	kg C2H2 eq
H2O	5,32E+01	kg/m2 edificacao	Consumo de recursos materiais renováveis	calculado	5,32E+01	kg
Energia elétrica	2,96E-01	kWh/m2 edificacao	Consumo de recursos energéticos renováveis	calculado	2,63E-01	kWh
			Consumo de recursos energéticos não renováveis	calculado	3,32E-02	kWh
RCC	7,81E+01	kg/m2 edificacao	Resíduos de construção civil	calculado	7,81E+01	kg
Energia	6,13E-01	kWh/m2 edificacao	Consumo de recursos energéticos não renováveis	calculado	6,13E-01	kWh

Continuação

Hidrocarboneto	1,94E-01	kg/m2 edificacao	Consumo de recursos materiais não renováveis	1,00E+00	1,94E-01	kg CO2 eq
RCC	4,80E+02	kg/m2 edificacao	Resíduos de construção civil	calculado	4,80E+02	kg
CO2	6,52E-01	kg/m2 edificacao	Aquecimento global	1,00E+00	6,52E-01	kg CO2 eq
CO	1,41E-02	kg/m2 edificacao	Aquecimento global	5,00E-01	2,82E-02	kg CO2 eq
			Formação de ozônio fotoquímico	3,33E+01	4,23E-04	kg C2H2 eq
			Toxicidade humana (ar)	1,20E-06	1,17E+04	m3 de ar
CH4	4,24E-05	kg/m2 edificacao	Formação de ozônio fotoquímico	1,43E+02	2,97E-07	kg C2H2 eq
			Aquecimento global	4,00E-02	1,06E-03	kg CO2 eq
NOx	1,81E-02	kg/m2 edificacao	Eutrofização	7,41E-01	2,44E-02	kg NO3 eq
			Acidificação	1,43E+00	1,26E-02	kg SO2 eq
			Toxicidade humana (ar)	1,16E-07	1,56E+05	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	1,35E+02	1,34E-04	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	3,42E-01	5,29E-02	m3 de solo
N2O	5,12E-06	kg/m2 edificacao	Aquecimento global	3,13E-03	1,64E-03	kg CO2 eq
			Eutrofização	3,55E-01	1,44E-05	kg de NO3 eq
			Toxicidade humana (ar)	5,00E-07	1,02E+01	m3 de ar
C6H6	4,18E-08	kg/m2 edificacao	Formação de ozônio fotoquímico	5,00E+00	8,35E-09	kg C2H2 eq
			Toxicidade humana (ar)	1,00E-10	4,18E+02	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	4,44E-04	9,40E-05	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	6,90E-05	6,05E-04	m3 de solo
			Ecotoxicidade aguda (água)	1,00E-04	4,18E-04	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (água)	2,50E-04	1,67E-04	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (solo)	2,78E-04	1,50E-04	m3 de solo

Continuação

H2CO	5,59E-07	kg/m2 edificacao	Formação de ozônio fotoquímico	2,50E+00	2,24E-07	kg C2H2 eq
			Toxicidade humana (ar)	8,00E-11	6,99E+03	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	9,03E+00	6,19E-08	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	1,73E-01	3,22E-06	m3 de solo
			Ecotoxicidade aguda (água)	1,67E-05	3,35E-02	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (água)	4,18E-05	1,34E-02	m3 de água
			Ecotoxicidade crônica (solo)	4,93E-06	1,13E-01	m3 de solo
MP 10	8,28E-05	kg/m2 edificacao	Toxicidade humana (ar)	5,00E-08	1,66E+03	m3 de ar
HCl	3,12E-06	kg/m2 edificacao	Acidificação	1,14E+00	2,74E-06	kg SO2 eq
HF	3,90E-07	kg/m2 edificacao	Acidificação	6,25E-01	6,24E-07	kg SO2 eq
NH3	3,10E-11	kg/m2 edificacao	Eutrofização	2,75E-01	1,13E-10	kg de NO3 eq
			Acidificação	5,32E-01	5,83E-11	kg SO2 eq
SOx	9,12E-04	kg/m2 edificacao	Acidificação	1,54E+00	5,93E-04	kg SO2 eq
			Toxicidade humana (ar)	7,80E-07	1,17E+03	m3 de ar
NMVOC	3,43E-03	kg/m2 edificacao	Ecotoxicidade crônica (solo)	1,67E-01	2,06E-02	m3 de solo
			Ecotoxicidade crônica (água)	1,24E+00	2,77E-03	m3 de água
			Toxicidade humana (ar)	1,65E-04	2,08E+01	m3 de ar
			Toxicidade humana (água)	1,35E+04	2,55E-07	m3 de água
			Toxicidade humana (solo)	8,86E+01	3,87E-05	m3 de solo
			Aquecimento global	6,67E-01	5,14E-03	kg CO2 eq
			Formação de ozônio fotoquímico	4,64E+02	7,38E-06	kg C2H2 eq