

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE ENGENHARIA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS**

**METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO
CICLO DE VIDA DE SISTEMAS
CONSTRUTIVOS – APLICAÇÃO EM UM
SISTEMA ESTRUTURADO EM AÇO**

2011

Danielly Borges Garcia Macedo

**METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO
CICLO DE VIDA DE SISTEMAS
CONSTRUTIVOS – APLICAÇÃO EM UM
SISTEMA ESTRUTURADO EM AÇO**

Orientador: Francisco Carlos Rodrigues

Co-Orientador: Maria Teresa Paulino de Aguiar

2011

Ao meu pai, Hélio Garcia de Moraes, e ao meu avô, Manoel Garcia de Almeida, que me ensinaram a reverenciar a natureza.
Aos meus filhos que serão herdeiros desse ensinamento.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as coisas e por me permitir viver este momento importante da minha vida.

Ao meu marido, Roberto Araujo Macedo, por ser mais que companheiro, por acompanhar e ouvir atentamente assuntos tão díspares dos do seu cotidiano.

À minha amada família, principalmente aos meus pais, pelo orgulho que têm de mim, o que me fortalece e incentiva.

Aos meus orientadores, Maria Teresa Paulino de Aguiar e Francisco Carlos Rodrigues. À Professora Teresa, por me imbuir do espírito científico e aprimorar o olhar filosófico; ao Professor Francisco, por acreditar nas minhas propostas desde o mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da UFMG, por apoiar e observar a aventura de uma Arquiteta e Urbanista pela Engenharia de Estruturas.

Ao Arquiteto Roberto Inaba, por identificar nesta pesquisa uma oportunidade de aplicação da sustentabilidade na Construção Metálica.

Ao Instituto do Aço Brasil, em especial Catia Mac Cord e Fernando Mattos, por viabilizarem tudo o que foi necessário para a realização dessa pesquisa, e por contribuir efetivamente, questionando, ouvindo, apresentando pessoas, enviando artigos. Sem este apoio esta tese não seria possível.

Ao pessoal do Meio Ambiente do IABr, nas pessoas de Cristina Yuan e Lucila Caselato, por lançarem um olhar específico e diretivo nos resultados dessa tese, e por direcionar os contatos necessários para obtenção de dados.

Aos demais membros do Instituto Aço Brasil, por abrirem espaço nas reuniões para ouvir, questionar e contribuir com este trabalho.

À reitoria do Unileste, em especial ao professor Genésio Zeferino e à professora Ana Marta, pela compreensão essencial para a finalização desta tese.

Ao colega professor Ricardo Augusto Crochet, pela substituição providencial e fundamental à frente do Curso de Arquitetura e Urbanismo do Unileste.

Aos pesquisadores do Curso de Arquitetura e Urbanismo do Unileste: Alberto Guerra Valadares, Juliana Cota Hosken Portes, Vivia Ribeiro Souza Ramos, Viviane Madureira, Nayara Barroso e Jomaira Lopes por participarem como pesquisadores de Iniciação Científica deste projeto de longo prazo e por contribuírem na formação de novos conceitos e novos entendimentos.

À amiga e pesquisadora Andrea Martins Grativol, por contribuir no desenvolvimento científico deste trabalho e por estender sua contribuição às traduções e às conversas agradáveis, igualmente importantes.

Ao amigo Adão Vieira Faria, por responder prontamente às minhas dúvidas metalúrgicas.

Ao superintendente de Meio Ambiente da Usiminas Ipatinga, Pedro Luis Pereira Ribeiro, e ao analista de Meio Ambiente, Leonardo Veloso, por esclarecerem dúvidas fundamentais para esta tese e por disponibilizarem informações igualmente importantes.

Ao Promotor de Meio Ambiente Dr. Walter Freitas Júnior, pela preciosas informações e esclarecimentos.

Ao pessoal da Codeme Engenharia: Carlos Valério Amorim, Rodrigo Sera, Dalton Utsch, Varonil Barbosa e Júlio Gandra, por disponibilizarem as informações sobre o beneficiamento dos perfis metálicos.

Ao Engenheiro Antônio Caetano Silva, Gerente de Produção da Metform, pela agradável recepção e por disponibilizar todos os dados demandados para essa pesquisa.

Ao pessoal da Gerdau: engenheiro Fábio Panoni, Antônio Izaias, Hegler Assunção e Flávio D Alambert, por se disponibilizarem em me atender com informações preciosas.

À Valdete Nunes, pela paciência e pela minúcia na revisão do texto.

Aos colegas da Box Arquitetos Associados, por transformar momentos de tensão em horas agradáveis.

Ao Eliézer e a Inês, do Departamento de Estruturas da UFMG pela presteza na reta final, viabilizando tecnologias de apresentação e interatividade, que antes não seria possível

.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Considerações preliminares	1
1.2	Justificativa	6
1.3	Hipótese	12
1.4	Objetivos	12
1.5	Organização da tese	13
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Apresentação.....	15
2.2	Definição e normatização de sistemas construtivos	16
2.2.1	Conceito de sistema construtivo	16
2.2.2	Normatização de desempenho das edificações.....	25
2.3	Iniciativas para desenvolvimento da construção sustentável no Brasil	32
2.3.1	LEED NC.....	33
2.3.2	AQUA.....	34
2.3.3	BREEAM.....	37
2.3.4	Casa azul	38
2.3.5	Guia de sustentabilidade na construção – SINDUSCON-MG	39
2.3.6	“Teorias e práticas em construções sustentáveis no Brasil” – Secretaria do Estado de Ambiente do Rio de Janeiro	40
2.3.7	O pensamento de Ciclo de Vida nos sistemas certificadores.....	40
2.4	Seleção de materiais de construção a partir da sustentabilidade ambiental....	41
2.4.1	Energia incorporada.....	44
2.4.2	Materiais ambientalmente preferíveis.....	48
2.4.3	Avaliação de Ciclo de Vida	53
2.4.3.1	Normatização e conceitos em ACV	55
2.4.3.2	Outras abordagens em ACV	67
2.4.3.3	Estado da arte da ACV no Brasil.....	68
2.4.3.4	Estado da arte da ACV na construção civil.....	72
2.4.3.5	Estratégias de aplicação da ACV na construção civil no Brasil: ferramentas qualitativas e quantitativas	88

2.4.3.6	Considerações sobre o estado da arte da ACV no Brasil e na construção civil e direcionamentos para a tese	102
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	106
3.1	Materiais para ACV do Sistema Estrutural em Aço Erro! Indicador não definido.	
4.	RESULTADOS	116
4.1	Metodologia de ACV em sistemas construtivos.....	120
4.1.1	Avaliação do impacto dos materiais	130
4.1.2	Avaliação do impacto dos processos inerentes ao sistema construtivo ..	133
4.1.3	Aplicação da metodologia – Sistema Estrutural em Aço	135
4.1.3.1	Etapa de fabricação.....	139
4.1.3.2	Fabricação do aço (Processos).....	140
4.1.3.3	Fabricação do Deck Metálico (Processos)	147
4.1.3.4	Fabricação da Estrutura Metálica (Processos).....	149
4.1.3.5	Sistema Estrutural em Aço (Montagem)	151
4.1.4	Etapa de obra	151
4.1.5	Uso e manutenção (Processo).....	153
4.1.6	Etapa de desmonte e destinação final (Cenário de destino final)	154
4.1.7	Resultados da Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida – processos que mais contribuem para o impacto ambiental do sistema	155
4.1.7.1	Avaliação do Ciclo de Vida do Sistema Estrutural em Aço – todas as etapas	156
4.1.7.2	Avaliação do Ciclo de Vida do Sistema Estrutural em Aço – fabricação e desmonte.....	160
4.1.7.3	Avaliação do Ciclo de Vida do Sistema Estrutural em Aço – obra e manutenção	164
4.1.7.4	Considerações sobre a ACV do Sistema Estrutural em Aço.....	169
4.1.8	Considerações finais	170
5.	CONCLUSÕES	173
6.	DIRECIONAMENTOS PARA TRABALHOS FUTUROS	176
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	178
8.	ANEXOS	195

8.1	Anexo 2 – Parametrização do <i>software Simapro</i>	195
8.2	Anexo 3 – Telas de parametrização do <i>SIMAPRO</i>	199
8.3	Anexo 4 – Inventário do Ciclo de vida do Sistema Estrutural em Aço.....	202

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Caminhos para o desenvolvimento sustentável.....	4
Figura 2.1 – Organismo humano X Sistema Construtivo.....	16
Figura 2.2 – Distinção teórica entre sistema construtivo e edifício.....	17
Figura 2.3 – Sistema de vedação.....	18
Figura 2.4 – Sistema <i>Light Steel Framing</i>	19
Figura 2.5 – Sistemas construtivos abertos.....	19
Figura 2.6 – Linha de montagem de um automóvel.....	21
Figura 2.7 – Critérios de sustentabilidade na NBR 15575.....	29
Figura 2.8 – Relação entre a Norma de Desempenho e a ACV.....	30
Figura 2.9 – Oferta de energia no Brasil em 2002.....	45
Figura 2.10 – Avaliação em cada etapa da ACV.....	56
Figura 2.11 – Estrutura e aplicação da ACV.....	58
Figura 2.12 – Fluxograma de produção de 1m ² de piso cerâmico.....	59
Figura 2.13 – Inventário de Ciclo de Vida de 1m ² de piso cerâmico.....	60
Figura 2.14 – Emissões médias (CO ₂) em diferentes regiões para produção de 1kg de cimento Portland.....	61
Figura 2.15 – Categorias de impacto relacionadas com emissões.....	63
Figura 2.16 – Resultados da AICV para dois fabricantes de piso cerâmico.....	66
Figura 2.17 – Resultado da metodologia MARS-H proposta por BRAGANÇA et al. (2008) – por categorias.....	74
Figura 2.18 – Resultado da metodologia MARS-H proposta por BRAGANÇA et al. (2008) – índice global.....	75
Figura 2.19 – Quadro de desempenho ambiental proposto por LIMA.....	90
Figura 2.20 – Categorias de impacto utilizadas no BEES.....	92
Figura 2.21 – Resultados da análise de uma cadeira de escritório.....	94
Figura 2.22 – Montagem de dados de um sistema estrutural no Athena Impact Estimator Demo.....	95
Figura 2.23 – Resultados do Athena Impact Estimator em algumas categorias de impacto.....	96

Figura 2.24 – Inventário de Ciclo de Vida de residência em Light Steel Framing pelo Ecoinvent.	99
Figura 2.25 – AICV de uma vedação utilizando categorias de impacto intermediárias.	100
Figura 2.26 – Diferenças entre o ciclo de vida de materiais de uso imediato e ciclo de vida de edifícios.	102
Figura 3.1 – Implantação do Campus Piau.	106
Figura 3.2 – Vista lateral do Edifício Piau.	106
Figura 3.3 – Fachada Sul com planos envidraçados e protegidos.	107
Figura 3.4 – Esquema de ventilação do edifício.	107
Figura 3.5 – Planta Edifício Piau.	108
Figura 3.6 – Sistemas construtivos originais do Edifício Piau.	109
Figura 4.1 – Modelo de metodologia baseado em ACV – nova proposição.....	116
Figura 4 2 – Organograma geral do Edifício Piau.....	118
Figura 4 3 – Resultado hipotético de ACV de sistema construtivo por impacto de cada componente.....	120
Figura 4 4 – Parte da estrutura de lançamento de dados do Simapro.....	121
Figura 4 5 – Etapas do Ciclo de Vida para Sistemas Construtivos.....	122
Figura 4 6 – Metodologia de Avaliação Ambiental de Sistemas Construtivos (MAASC), com uso do Simapro.....	123
Figura 4 7 – Resultado da ACV para um sistema construtivo (dados hipotéticos)....	126
Figura 4 8 – Fluxograma da etapa de fabricação.....	127
Figura 4 9 – MAASC para a análise do impacto dos Materiais.....	130
Figura 4.10 – MAASC para a análise do impacto de Obra e Uso e Manutenção.....	133
Figura 4.11 – Limites/ Fronteiras do sistema a ser analisado nesta ACV.....	135
Figura 4.12 – Componentes da Etapa de Fabricação da Estrutura.....	138
Figura 4.13 – Esquema de Insumos e Emissões da Coqueria.....	139
Figura 4.14 – Esquema de Insumos e Emissões da Sinterização.....	140
Figura 4.15 – Limites da etapa de Obra.....	150
Figura 4.16 – Esquema da etapa de manutenção.....	152
Figura 4.17 – Esquema da etapa de desmonte e destino final.....	153

Figura 4.18 – Resultado da ACV do sistema estrutural em aço.....	155
Figura 4.19 – Fluxo do impacto de “potencial de aquecimento global”	156
Figura 4.20 – Resultado da ACV do sistema estrutural em aço por ponderação.....	158
Figura 4.21 – Resultado da ACV do sistema estrutural em aço por pontuação.....	158
Figura 4.22 – Resultado da ACV dos materiais constituintes do sistema construtivo em aço.....	159
Figura 4.23 – Fluxo do impacto global na fabricação e descarte dos materiais.....	160
Figura 4.24 – Contribuição por categoria de impacto na fabricação e descarte dos materiais.	161
Figura 4.25 – Fluxo do impacto “componentes inorgânicos inaláveis” na etapa de fabricação.....	161
Figura 4.26 – Fluxo do impacto “depleção de combustíveis fósseis” na etapa de fabricação.....	161
Figura 4.27 – Fluxo do impacto “potencial de aquecimento global” na etapa de fabricação.....	162
Figura 4.28 – Resultado da ACV das etapas de obra e manutenção do sistema construtivo em aço.....	164
Figura 4.29 – Resultado da ACV das etapas de obra e manutenção do sistema construtivo em aço.....	164
Figura 4.30 – Contribuição das categorias de impacto das etapas de obra e manutenção do sistema construtivo em aço.....	165
Figura 4.31 – Fluxo do impacto “depleção de combustíveis fósseis” na etapa de manutenção.....	166
Figura 4.32 – Fluxo do impacto “componentes inorgânicos na respiração” na etapa de manutenção.....	167
Figura 4.33 – Fluxo do impacto “esgotamento de minerais” na etapa de manutenção.....	168

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Iniciativas governamentais nos temas da construção sustentável.....	9
Tabela 2.1 – Critérios de avaliação de sistemas construtivos segundo princípios da produção enxuta e da construção limpa.....	22
Tabela 2.2 – Classificação dos critérios de desempenho da ABNT NBR 15575:2008.....	27
Tabela 2.3 – Critérios de avaliação do sistema AQUA – QAE.....	34
Tabela 2.4 – Resumo de atuação das certificações ambientais por etapa do ciclo de vida.....	40
Tabela 2.5 – Energia Incorporada (EI) de alguns materiais da construção civil.....	43
Tabela 2.6 – Energia Incorporada (EI) por massa e por área das telhas cerâmicas e fibrocimento.....	46
Tabela 2.7 – Itens a serem avaliados na proposição de LIMA.	88
Tabela 3.1 – Categorias de impacto apresentadas na Revisão Bibliográfica.....	109
Tabela 3.2 – Vida útil de projeto prevista na NBR 15575. Fonte: ABNT NBR 15575:2008.....	112
Tabela 4.1 – Origem dos dados utilizados no Simapro para a ACV de Sistemas Estruturais.....	137
Tabela 4.2 – Categorias de impacto a serem consideradas.....	142
Tabela 4.3 – Relação dos insumos e energia para produção de 1kg de aço.....	143
Tabela 4.4 – Relação de emissões para o ar por kg de aço produzido.....	145
Tabela 4.5 – Dejetos e saídas para a tecnosfera e meios de transporte utilizados na produção do aço carbono brasileiro.....	146
Tabela 4.6 – Dados de materiais e processos para o aço galvanizado, chapa de 0,80mm.	147
Tabela 4.7 – Fabricação do deck metálico por unidade de massa (1kg).....	149
Tabela 4.8 – Fabricação da estrutura metálica por kg de produção.....	150
Tabela 4.9 – Montagem do Sistema Estrutural em Aço.....	151
Tabela 4.10 – Insumos e recursos cadastrados na etapa de Obra.....	153
Tabela 4.11 – Insumos e recursos cadastrados no Cenário de Destino Final.....	154
Tabela 4.12 – Insumos e recursos cadastrados na etapa de Cenário de Destino Final	155

LISTA DE SIGLAS

- ABCV - Associação Brasileira de Ciclo de Vida
- ABIPTI - Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ACV - Avaliação do Ciclo de Vida
- AQUA - Alta Qualidade Ambiental
- ASTM - American Society for Testing and Materials
- BAMS - Building Assemblies and Material Scorecard
- BEES - Building for Environmental and Economic Sustainability
- BIM - Building Information Model
- BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method
- CBCS - Conselho Brasileiro da Construção Sustentável
- CEFET-PR - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná
- CEN TC - European Committee for Standardization
- CIB - Conselho Internacional da Construção
- CIB - International Council for Research and Innovation in Building Construction
- CML - Centrum voor Milieukunde (Center for Environmental Science)
- CNI - Confederação Nacional das Indústrias
- CNPJ - Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica
- CNPq - Conselho Nacional de Pesquisa
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CONMETRO - Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
- COV - Compostos Orgânicos Voláteis
- EDIP - Environmental Design of Industrial Products
- EIA - Estudos de Impacto Ambiental
- EIVA - Estudos de Impacto de Vizinhança e Avaliação Ambiental
- EPA - Environmental Protection Agency
- EPD - Declaração Ambiental de Produtos – Original: Environmental Product Declaration
- EPS - Environmental Priority Strategies
- EPUSP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

GANA - Grupo de Apoio à Normalização Ambiental
HQE - Haute qualité environnementale
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
IBICT - Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ICV - Inventário de Ciclo de Vida
IEL - Instituto Euvaldo Lodi
iiSBE - International Initiative for a Sustainable Built Environment
INMETRO - pelo Instituto Nacional de Metrologia
INT - Instituto Nacional de Tecnologia
IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO - International Organization for Standardization
LEED - Leadership in Energy and Environmental Design
LIME (Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling)
LSF - Light Steel Framing
MAASC - Metodologia de Avaliação Ambiental de Sistemas Construtivos
MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia
MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MIT - Instituto de Tecnologia de Massachusetts
MRI - Midwest Research Institute
NIST - National Institute of Standards and Technology
NORIE - Núcleo Orientado para a Inovação na Edificação
OECD - Organisation for Economic Cooperation and Development
ONU - Organização das Nações Unidas
PBACV - Programa Brasileiro de Avaliação de Ciclo de Vida
PBH - Prefeitura Municipal de Belo Horizonte
PBQP-H - Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat
PeBBu - Performance Based Building Network
PEC - Primary energy consumption
PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PSQ - Programas Setoriais de Qualidade
PURA - Programa de Uso Racional da Água

QAE - Qualidade Ambiental do Edifício
QDA- Quadro de Desempenho Ambiental
RDC - Resíduos de Demolição e Construção
RIMA - Relatórios de Impacto de Meio Ambiente
RTQ-C - Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
SABESP - Secretaria de Abastecimento de Água do Estado de São Paulo
SBCI - Sustainable Building and Construction Initiative
SEA - Secretaria do Estado de Ambiente
SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SETAC - Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental
SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SGE: Sistema de Gestão do Empreendimento (verificar se precisa dessa)
SICV - Sistema de Inventários de Ciclo de Vida
SINAT - Sistema Nacional de Avaliação Técnica
SINDUSCON-MG - Sindicato da Indústria da Construção Civil de Minas Gerais
TRACI - Tools for Reduction and Assessment of Chemical or other Impacts
UFGRS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina
UFTPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UnB - Universidade de Brasília
UNEP - United Nations Environment Programme
USLCI – U. S. Life-Cycle Inventory
USP - Universidade de São Paulo

RESUMO

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma das ferramentas utilizadas para análise dos impactos ambientais dos materiais de construção, através da avaliação do comportamento ambiental do material do “berço” ao “túmulo”. Para tal, utilizam-se inventários contendo entradas e saídas durante o ciclo de vida dos materiais de construção. A criação de bancos de dados brasileiros de materiais de construção está em estágio inicial de desenvolvimento, enquanto que em alguns países esses dados já estão consolidados. Além da ausência de dados, deve-se considerar que a avaliação ambiental de um edifício não corresponde à soma dos resultados da ACV de cada material. Trata-se do conjunto que inclui os materiais e as características relativas às interfaces entre esses e seu comportamento no sistema construtivo. Tendo em vista a morosidade em construir este banco de dados, o conceito resgatado neste trabalho é que cada edifício é único, e que a avaliação de ciclo de vida na construção civil brasileira poderá ser mais útil como ferramenta de minimização dos impactos ambientais. Para isso, é proposta uma metodologia de utilização da ACV nos sistemas construtivos, denominada Metodologia de Avaliação Ambiental de Sistemas Construtivos (MAASC), utilizando o software *Simapro*. Essa proposta abrange o estágio atual da ACV da construção civil brasileira e a possibilidade de já utilizar essa ferramenta sem dados nacionais. Considerando a ausência de dados brasileiros para a construção de uma ACV, optou-se por avaliar um sistema construtivo que fosse constituído de uma única matéria prima: o aço. Dessa forma foram levantados dados do sistema estrutural em aço, suas entradas e saídas desde o processo de fabricação e beneficiamento do aço, a etapa de obra, uso e manutenção até o desmonte do edifício, incluindo a destinação final dos materiais (*cradle to grave*). Assim, a contribuição científica inédita destacada nesta tese é a construção de uma metodologia que atenda às demandas dos sistemas construtivos e o levantamento de dados de produção do aço, bem como processos de beneficiamento do mesmo para uso na construção civil e seu comportamento ao longo da vida útil e descarte, contribuindo para a formação de inventários de produtos da construção civil.

Palavras-Chave: avaliação de ciclo de vida, sistemas construtivos, sistema estrutural em aço

ABSTRACT

The Life Cycle Assessment (LCA) is one of the tools used to analyze the environmental impacts of building materials, by evaluating the environmental performance of the material from the "cradle" to "grave". For this purpose, were used inventories containing inputs and outputs during the life cycle of building materials. The creation of Brazilian database of building materials is in early stages of development, while in some countries these data are already consolidated. Besides the lack of data, should be considered that the environmental assessment of a building is not the sum of the LCA results for each material. This is the set that includes the materials and the characteristics relating to the interfaces between these and their behavior in the building system. Considering the delays in building this database, the concept rescued in this work is that each building is unique, and that the assessment of life cycle in the Brazilian civil construction may be more useful as a tool to minimize environmental impacts. To this end, a methodology of use of LCA in building systems is proposed, called Environmental Assessment Methodology Building Systems (MAASC) using the *Simapro* software. This proposal covers the current status of LCA of Brazilian civil construction and the possibility of already use this tool without national data. Considering the absence of Brazilian data for the construction of a LCA, it was decided to evaluate a building system that would consist of a single raw material: steel. Thus, data were collected from the steel structural system, its inputs and outputs from the manufacturing process and processing of steel, the stage of work, use and maintenance to the dismantling of the building, including the disposal of materials (cradle to grave). So the unprecedented scientific contribution highlighted in this thesis is the construction of a methodology that meets the demands of the building systems and the data collection of steel production, as well as processing of this for use in the civil construction and its behavior over the life and disposal, contributing to the development of inventories of civil construction products.

Keywords: life cycle assessment, building systems, steel structural system

Nós construímos porque pouco do que fazemos pode ser executado ao ar livre.

Nós precisamos de cobertura para o sol, o vento, a chuva e a neve.

Nós precisamos de locais planos e secos para desenvolver nossas atividades.

Geralmente nós precisamos empilhar estes ambientes para multiplicar o espaço disponível.

Nesses ambientes cobertos nós precisamos de ar quente ou frio, mais ou menos umidade do que em local aberto.

Nós precisamos de menos luz durante o dia e mais durante a noite, além daquela que é oferecida pela natureza.

Nós necessitamos de serviços que forneçam energia, comunicação, água e colete os esgotos.

Então nos juntamos os materiais, na produção do que denominamos edifícios, para satisfazer estas necessidades.

Edward Allen

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações preliminares

O conceito de desenvolvimento sustentável foi se formando entre o final da década de 1960 e o início da década de 1970 como uma proposição conciliadora frente a discussões controversas que ocorriam no Clube de Roma, sobre a impossibilidade de promover o crescimento econômico sem agredir o meio ambiente.

O Clube de Roma, constituído por personalidades influentes do mundo todo, foi fundado em 1968 e, no início da década de 1970, contratou o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (*MIT*) para elaborar um estudo sobre o crescimento econômico e os impactos ambientais. Este estudo relatava que somente através do crescimento zero da economia seria possível evitar catástrofes ambientais (CORAZZA, 2005; ROMEIRO, 2001), e suas ideias foram difundidas a partir da publicação *Limites do crescimento* (MEADOWS *et al.*, 1972).

As reflexões sobre a oposição entre crescimento econômico e preservação ambiental ocorrem desde então, com defesas ao crescimento econômico por meio da aplicação da própria tecnologia a favor de soluções mais eficientes (reduzindo a necessidade de recursos) e de novas destinações aos resíduos (ROSEMBERG, 1976).

Em 1987, na reunião da ONU, o Relatório Bruntland definiu como desenvolvimento sustentável a necessidade do meio ambiente de atender a população presente sem comprometer as gerações futuras. Esse conceito é utilizado até hoje e engloba as dimensões ambiental, econômica e social, embora seja entendido equivocadamente como desempenho ambiental. A discussão sobre o desenvolvimento sustentável teve seu ápice na conferência mundial ECO 92, no Rio de Janeiro, e em 1997 em Kyoto, onde representantes de diversos países assinaram o Protocolo de Kyoto, no qual se comprometeram a reduzir as emissões de poluentes atmosféricos. Essas iniciativas partem da ONU e ocorrem periodicamente, como é o caso da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente Rio+20, que acontecerá em 2012 no Rio de Janeiro.

Considerando a vertente ambiental da sustentabilidade, a construção civil participa como uma das principais atividades humanas que interfere no meio ambiente. De acordo com EDWARDS e BENNETT (2003), o setor da construção civil é responsável por 50% da retirada de recursos naturais e 50% do lixo total gerado. Somente a indústria cimenteira contribui com parcelas de 5% de emissões de CO₂ no mundo (DAMINELLI, *et al.*, 2010). Os impactos da construção civil no meio ambiente não se restringem às emissões de CO₂: vão desde a modificação do ambiente natural, na implantação do edifício no terreno, passando pelo uso e operação do mesmo, até sua deposição ao final da vida operativa. Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), a construção civil é o setor com o maior potencial para reduzir a emissão dos gases que provocam o aquecimento global (JOHN, 2007).

Um edifício, ao ser construído, além de modificar o habitat natural, impermeabiliza o terreno, contribuindo para o esgotamento dos lençóis freáticos e aumentando a possibilidade de enchentes. Os materiais e componentes utilizados na construção são extraídos da natureza, industrializados e transportados até o local da obra. Cada uma destas etapas causa um impacto considerável. Ao serem utilizados, esses materiais produzem resíduos sólidos ou líquidos que, por sua vez, podem poluir os cursos d'água e o lençol freático. Outras possibilidades de impacto são a utilização excessiva de água na obra e o gasto de energia de fonte não renovável na montagem. Quando o edifício

estiver em uso demandará energia e água para operação. Além disso, ele pode ser constituído por materiais que emitem substâncias voláteis tóxicas, afetando a saúde do usuário. Ao final do uso do edifício, a demolição causará grande impacto no ambiente natural caso os materiais não sejam reutilizados ou reciclados.

Assim, surgiram duas vertentes como solução para a construção sustentável: a adoção do “crescimento zero” e o desenvolvimento de tecnologias mais limpas.

O resgate da permacultura¹ foi a tradução da vertente “crescimento zero” por acreditar que, ao eliminarmos a tecnologia e utilizarmos apenas recursos locais naturais, sem industrialização, é possível solucionar o impacto da atividade humana no ambiente. Trata-se de uma solução romântica, já que não existe área suficiente para que todos os habitantes do planeta vivam dessa maneira. Isso reflete também na indústria de produtos de uso imediato, com o incentivo ao consumo de produtos artesanais. Esses produtos não são oferecidos em larga escala, o que os torna mais onerosos e sem capacidade de atendimento ao mercado (em quantidade).

Para o desenvolvimento de tecnologias mais limpas é preciso rastrear os impactos dos produtos ou edifícios ao longo de sua vida, desde a concepção até o descarte (de berço ao túmulo ou *cradle to grave*), o que é entendido por Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Através da ACV é possível identificar em qual etapa (extração de matéria prima, produção, uso ou descarte) o material mais impacta o ambiente e, então, interferir no processo, seja este material um produto de uso imediato ou o próprio edifício. A FIG. 1.1 ilustra as duas vertentes supracitadas para o desenvolvimento sustentável.

¹Permacultura é um método holístico de organizar todos os insumos para a sobrevivência do ser humano a partir da agricultura de subsistência e da extração de todos os bens necessários do local de ocupação sem agredir o meio ambiente.

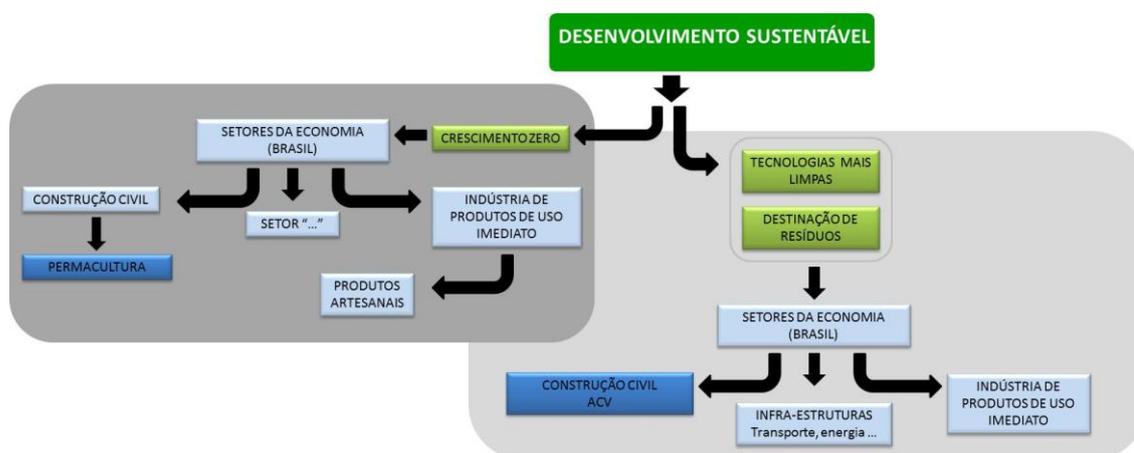


FIGURA 1.1 - Caminhos para o desenvolvimento sustentável

MCDONOUGH e BRAUNGART (2007) ampliam o conceito *cradle to cradle* para *cradle to cradle design*, acreditando que produtos e sistemas industriais deverão ser projetados para o meio ambiente (*Design for environmental*), onde cada elemento descartado é a fonte para um novo ciclo de vida, mantendo sua qualidade e eficiência. Sendo assim, comungam das ideias de ROSEMBERG (1976), o qual afirma que uma das soluções para garantir o futuro da economia é dar novos usos aos resíduos das atividades humanas.

A ACV é uma ferramenta de avaliação de impactos ambientais devidamente regulamentada (ISO 14040, 2010) e oriunda da indústria de produtos de uso imediato, onde se avalia os impactos de materiais e processos ao longo da “vida” de um produto. Sua aplicação na construção civil é possível, apesar de algumas especificidades desta. Além da aplicação deste conceito aos materiais da construção civil, a ACV vem sendo utilizada em metodologias de avaliação da sustentabilidade “ambiental” de edificações e em guias de boas práticas para a construção sustentável. Ambas surgem de iniciativas de organizações de classe (SINDUSCON, 2010), conselhos criados para estes fins (LEED, BREEAM, AQUA) ou, ainda, iniciativas governamentais (CASA AZUL, SELO VERDE PBH).

Considerando a ACV para materiais e produtos, seu uso adaptado da indústria de produtos de uso imediato para a construção civil confronta com a falta de normatização e padronização de qualidade neste setor no Brasil. Na indústria de produtos de uso

imediatamente a produção é serial, seguindo um mesmo padrão de processos e entrada de insumos. O entendimento dos impactos ambientais em processos recorrentes é mais fácil do que na construção civil, já que, naquele caso, o produto gerado será sempre o mesmo. Na construção civil, os projetos são específicos para cada situação e a linha de produção é ainda artesanal, dificultando o entendimento tanto de materiais e processos demandados para cada edifício, quanto dos impactos ambientais.

Por isso, cabe estabelecer desempenhos mínimos do “produto” da construção civil antes de se avaliar os impactos ambientais dos materiais e processos constituintes deste “produto”. Neste contexto, o setor da construção civil brasileira, juntamente com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), criou uma norma de desempenho para edificações (ABNT NBR 15575: 2008) a fim de estabelecer condições mínimas de segurança, habitabilidade, durabilidade e sustentabilidade. É importante dizer que esta norma se direciona a edifícios residenciais de até cinco pavimentos, mas é única no Brasil quanto ao desempenho nos diferentes aspectos (segurança, habitabilidade e sustentabilidade).

Como a necessidade de definições para a sustentabilidade ambiental é uma demanda latente e atual, as avaliações e sugestões para tal vêm ocorrendo em paralelo, tanto por importações de indicadores de sustentabilidade *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), *BRE Environmental Assessment Method* (BREEAM), *Alta Qualidade Ambiental* (AQUA), quanto por iniciativas de órgãos públicos – Sindicato da Indústria da Construção Civil de Minas Gerais (SINDUSCON-MG), Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH), CASA AZUL.

Atualmente, existem vários indicadores de sustentabilidade pelo mundo, e parte deles vêm se internacionalizando. No Brasil existem o LEED Brasil, proveniente do certificador LEED norte-americano; o AQUA, a partir do certificador francês *Haute qualité environnementale* (HQE); e o BREEAM, sistema certificador inglês. Os edifícios que buscam a certificação são, em sua maioria comerciais, aliando a imagem da empresa a uma imagem “sustentável”. Mais de 50% dos edifícios certificados pelo LEED até 2011 são comerciais (LEED, 2011). Desses, o LEED e o AQUA têm passado

pelo processo de tropicalização, enquanto o BREEAM é aplicado nos mesmos moldes ingleses. A adaptação desses indicadores ao Brasil é importante, pois os aspectos considerados estão baseados em leis e práticas próprias, definidas por aspectos culturais e tradições construtivas de cada país de origem, o que pode acarretar em erros na interpretação dos resultados (FOSSATI, 2008). A aplicação desses indicadores no Brasil se restringe aos empreendimentos de alto padrão, onde a etapa de planejamento de obra é definidora de todos os procedimentos e especificações. Infelizmente, isso não abarca a maior parte da construção civil brasileira, que é constituída, em sua maioria, de construções mal planejadas, com definições no canteiro de obras.

Além dos indicadores de sustentabilidade internacionais, algumas iniciativas brasileiras vêm surgindo, por intermédio de “selos verdes” ou de guias de boas práticas em sustentabilidade. Dentre os selos destacam-se o SELO CAIXA AZUL, da CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CAIXA, 2010), e o SELO SUSTENTÁVEL, da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH, 2011), que se pautam em itens semelhantes aos certificadores (uso do solo, aproveitamento de recursos naturais, uso racional de água e energia, materiais e recursos), estabelecendo critérios de avaliações. Quanto aos guias de boas práticas em sustentabilidade na construção civil destacam-se os do SINDUSCON-MG e da Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Rio de Janeiro. Ambos estabelecem apenas sugestões, tal como indica seu título “guia de boas práticas”, e não pontuam ou avaliam.

1.2 Justificativa

Analisando as principais iniciativas para a construção sustentável, verifica-se a demanda de critérios de seleção de materiais de construção civil. O uso da ACV deveria ser aplicado aos materiais constituintes de *sistemas construtivos*, já que a função original do edifício é abrigar com desempenhos mínimos de segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Isso não é alcançado por um conjunto de materiais, mas através de processos e de interações que transformam o conjunto de materiais em *sistemas construtivos* destinados a uma função específica.

Dessa forma, duas demandas fomentam a presente tese: a carência de iniciativas brasileiras para a avaliação ambiental de materiais de construção civil e a definição equivocada de que um conjunto de materiais “ambientalmente corretos” gera um edifício de baixo impacto ambiental quanto aos materiais. Ou seja, devem-se avaliar *sistemas construtivos* e não materiais de construção. Essa é uma abordagem inédita de Avaliação de Ciclo de Vida na construção civil brasileira.

Para confirmar a carência de iniciativas brasileiras quanto a avaliação ambiental de materiais, foram resgatados os principais temas discutidos nas metodologias de certificação ambiental de edifícios e nos guias de boas práticas para construção sustentável no Brasil e identificadas as iniciativas governamentais em cada um dos temas. De uma maneira geral, os temas são classificados como:

- Concepção e relação com o entorno;
- Qualidade ambiental da edificação e eficiência energética;
- Uso da água;
- Aspectos construtivos: seleção de materiais, sistemas e gestão da qualidade;
- Resíduos.

Independente de estarem enquadrados em metodologias de avaliação ambiental ou em guias de boas práticas para a construção sustentável, estes temas já são tratados individualmente, mediante normas específicas ou ações governamentais para racionalização de recursos.

A questão da implantação e localização para empreendimentos de possíveis impactos ambientais é tratada no âmbito dos processos de licenciamento ambiental conforme regulamentação da Política Nacional do Meio Ambiente, instituída pela Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981. Como parte da regulação urbana dos municípios também se obedecem aos Estudos de Impacto de Vizinhança e Avaliação Ambiental (EIVA). Apesar de não ser obrigatório para todos os tipos de empreendimentos, os EIVA possuem bases calcadas nas práticas brasileiras para este fim.

Com relação à eficiência energética de edifícios, o Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL) aborda a estratégia de etiquetagem voluntária por meio do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e seus documentos complementares. Além desse, a ABNT NBR 15220: 2007 (Desempenho térmico de Edificações) pondera sobre o assunto através do mapeamento bioclimático do Brasil, respeitando características próprias de cada região. Sobre qualidade ambiental, a ABNT NBR 15575: 2008 (Desempenho de Edificações Residenciais de até 5 pavimentos), ainda em discussão nacional, contempla a qualidade ambiental interna nos critérios de habitabilidade.

A Secretaria de Abastecimento de Água do Estado de São Paulo (SABESP) possui uma iniciativa que trata do uso racional da água, o Programa de Uso Racional da Água (PURA). Este programa cria parâmetros por tipo de edificações e propostas para tornar esse uso eficiente. Ainda não existe uma regulamentação federal, embora alguns municípios, como Curitiba e Rio de Janeiro, estejam exigindo a reutilização de água em seus códigos locais.

Quanto aos resíduos sólidos domésticos e decorrentes da construção civil, propriamente dita, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (LEI Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010) institui princípios, objetivos e instrumentos para o gerenciamento dos resíduos sólidos. A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA Nº 307) é parte dessa política nacional e trata da destinação final dos resíduos da construção civil, bem como dos aspectos de reutilização e reciclagem.

Ao se tratar dos aspectos construtivos e da seleção de materiais, as iniciativas existentes focam no âmbito da conformidade e garantia da qualidade dos produtos. O Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), por meio do Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT), apresenta critérios de conformidade para sistemas inovadores, avaliando a qualidade desses produtos. Com relação aos impactos ambientais inerentes aos materiais e sistemas construtivos, não existe uma política própria, mas indicações de caminhos, conforme será apresentado na Revisão

Bibliográfica desta tese.

A TAB. 1.1 explicita de forma resumida as principais iniciativas governamentais e normas referentes a cada um dos aspectos da construção sustentável.

TABELA 1.1- Iniciativas governamentais nos temas da construção sustentável

Temas	Documento/ Legislação	Iniciativa
Concepção e relação com o entorno	Estudos de Impacto Ambiental, (EIA/RIMA). RESOLUÇÃO CONAMA N.º 001/86 Estudo de Impacto de Vizinhança.	Conselho Nacional do Meio Ambiente Regulação urbana municipal.
Qualidade ambiental da edificação e eficiência energética	PROCEL EDIFICA. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) ABNT NBR 15575: 2008 ABNT NBR 15220: 2007	Programa Nacional de Conservação de Energia Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT
Uso da água	Programa de Uso Racional da Água (PURA)	Secretaria de Abastecimento de Água do Estado de São Paulo (SABESP)
Aspectos construtivos: seleção de materiais, sistemas e gestão da qualidade	Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT/ PBQP-H)	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat
Resíduos	Política Nacional de Resíduos Sólidos. RESOLUÇÃO CONAMA N.º 307	Conselho Nacional do Meio Ambiente - federal

Com relação à seleção de materiais e sistemas construtivos com vistas ao impacto

ambiental, os caminhos apontados são para materiais preferenciais – aqueles com características de menor impacto, seja para produção, transporte ou emissão de poluentes no uso. A ACV é indicada como a ferramenta do futuro para a seleção de materiais (JOHN, 2010). É tratada assim por não existirem inventários de materiais e insumos da construção civil que possam fomentar ACVs nesta área. Essa ferramenta abrange outros produtos e processos em geral, não só os da construção civil. Desse modo, existem estudos de ACVs de diferentes materiais, como a indústria têxtil, produtos agrícolas, dentre outros. É uma metodologia bastante difundida e consolidada em outros países, mas no Brasil o estágio é ainda de construção inicial de um banco de dados.

O Instituto Brasileiro de Ciência e Tecnologia (IBICT), vinculado ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), é responsável por implementar e normalizar a ACV. Recentemente, aprovou, por meio do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO), o Programa Brasileiro de Avaliação de Ciclo de Vida (PBACV). Este programa tem como objetivo principal a implantação de um sistema reconhecido em âmbito internacional capaz de organizar, armazenar e disseminar informações padronizadas sobre Inventários do Ciclo de Vida (ICV) da produção brasileira e identificar as principais categorias de impactos ambientais para o Brasil. Além disso, o programa busca disseminar informação, incentivar trabalhos em ACV e elaborar inventários de ciclo de vida base da indústria brasileira.

Acredita-se que a criação de um banco de dados de ICVs de materiais de construção não contribui de imediato para a construção civil em massa, pois além dos materiais selecionados, deve ser abordada a interação entre estes para compor o *sistema construtivo*. Ou seja, além dos dados de impactos ambientais dos materiais ao longo do ciclo de vida, deve-se desenvolver uma metodologia própria para avaliar os processos de interação entre esses materiais, a compatibilidade dos mesmos, os procedimentos de obra, a implicação dessas interações no desmonte do sistema, dentre outros.

Nesse sentido, a presente pesquisa inova ao criar uma metodologia de avaliação de impactos ambientais baseada em características inerentes aos sistemas construtivos, tais

como a interação entre materiais distintos e as características geográficas do edifício. Entretanto, em função da ausência de dados de materiais e processos da construção civil, a ACV não focará a seleção de um sistema ou outro, mas a identificação dos impactos e indicativos de melhoria. Será feita uma análise dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do sistema construtivo, mais especificamente um sistema estrutural em aço.

Pode-se questionar a existência de ferramentas de ACV voltadas para análise de sistemas construtivos. Essas ferramentas realmente existem, tais como o software *Athena Impact Estimator* (ATHENA, 2008), e são aplicadas em outros países (EUA e Canadá), mas acontecem em um contexto distinto do brasileiro, pois:

- partem da construção civil com alto controle de qualidade, onde são conhecidos quantidades de materiais e insumos gastos em todo o processo;
- possuem um acervo consolidado de Inventários de Ciclo de Vida dos componentes dos sistemas construtivos;
- são baseadas nas informações de fabricantes locais.

Dessa forma, a metodologia é proposta simultaneamente à discussão da norma de desempenho de edificações (ABNT NBR 15575: 2008) e à construção de um inventário de produtos e recursos brasileiros. Com isso, busca-se entender a especificidade do sistema construtivo e permitir a inserção dos dados de sistemas que atendam à norma de desempenho e aos recursos inventariados na medida em que estes forem produzidos.

Portanto, uma metodologia para utilização da ACV na construção civil torna-se necessária, não para exclusão e substituição de materiais e sistemas, mas para a melhoria do próprio sistema construtivo através de processos de modulação dos materiais, reutilização de resíduos de obra ou até mesmo de aproveitamento do transporte. É importante que as informações geradas sejam acessíveis aos profissionais e de fácil compreensão, o que justifica plenamente a realização da presente pesquisa. A partir disso, ela contribuirá com o preenchimento da lacuna dos “aspectos construtivos, seleção de materiais e sistemas”, um dos temas principais da construção sustentável.

Portanto, a construção de uma metodologia de ACV aplicada aos sistemas construtivos brasileiros no estágio atual de ICVs e o levantamento de dados inerentes a um sistema estrutural em aço são as contribuições científicas inéditas destacadas neste trabalho.

1.3 Hipótese

A pergunta fundamental deste trabalho é como avaliar os impactos ambientais de sistemas construtivos, num contexto de ausência de inventários de ciclo de vida brasileiros e como utilizar este resultado para minimizar os impactos. Para tal, acredita-se que o edifício deve ser avaliado como organismo composto de sistemas que se interagem e não como um conjunto de materiais com comportamento e geração de impactos independentes.

Parte-se da hipótese de que não existem softwares adequados ao estado da arte da ACV na construção civil no Brasil. Dessa forma, desenvolve-se uma metodologia que permite a inserção de novos dados e que possibilita utilizar o resultado da análise para identificação da etapa mais impactante, gerando diretrizes de minimização destes impactos.

1.4 Objetivos

Pretende-se desenvolver um método que possa auxiliar na escolha de sistemas construtivos, levando-se em consideração que o sistema construtivo não é a simples união de materiais que o compõe, mas um processo complexo que inclui a construtibilidade, a interface entre os materiais e os subsistemas.

O objetivo deste trabalho é, portanto, o desenvolvimento de uma metodologia que considere as características inerentes ao sistema construtivo e a indicação dos processos que mais causam impactos ambientais ao longo das etapas do ciclo de vida desse sistema. A contribuição inédita deste trabalho é uma metodologia adequada ao estágio atual da construção civil brasileira, com a possibilidade de incorporar dados de

inventários de ciclo de vida brasileiros na medida em que esses forem sendo criados.

1.5 Organização da tese

Este trabalho se organiza da seguinte forma:

- No capítulo 2 é feita a revisão bibliográfica, onde se discute o conceito de sistema construtivo e a normatização brasileira de desempenho dos sistemas construtivos, além das formas de avaliação da sustentabilidade de materiais. Apresenta-se o estado da arte da ACV no Brasil no que diz respeito às infraestruturas gerais e às políticas públicas para seu desenvolvimento. Além disso, são mostrados os resultados da investigação acerca da ACV na construção civil no mundo e no Brasil e as principais ferramentas baseadas nesta metodologia, com aplicabilidade na construção civil;
- O capítulo 3 refere-se aos materiais e métodos, onde serão apresentadas as unidades funcionais, as fronteiras e os limites das ACVs realizadas;
- No capítulo 4 é proposta uma metodologia adaptada à ACV de sistemas construtivos e construída a ACV de um sistema estrutural em aço. Este capítulo contém o resultado deste trabalho, que é a Metodologia de Avaliação Ambiental de Sistemas Construtivos (MAASC);
- No capítulo 5 são expostas as conclusões desta Tese;
- No capítulo 6 são eleitas possibilidades de trabalhos futuros em ACV na construção civil brasileira;
- Ao final são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas nesta Tese;

- Os anexos contêm os quadros da metodologia proposta, o Inventário do Ciclo de Vida do sistema estrutural em aço e os quadros de entrada de dados do SIMAPRO para esta ACV.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Apresentação

A revisão bibliográfica tratará dos seguintes assuntos:

- Conceito de sistema construtivo, buscando distinguir o sistema construtivo do conjunto de materiais de construção;
- Normatização brasileira de desempenho e de qualidade de materiais e sistemas, a fim de identificar o que já existe no Brasil acerca de qualidade e desempenho de materiais e sistemas construtivos;
- Levantamento dos indicadores de sustentabilidade e dos guias de boas práticas para a construção sustentável utilizados atualmente no Brasil;
- Estado da arte da seleção de materiais pelo viés ambiental;
- Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil, principais políticas públicas e estado da arte das infraestruturas que são insumos para construção civil;

- Estado da arte da Avaliação do Ciclo de Vida na construção civil no mundo;
- Avaliação do Ciclo de Vida na construção civil brasileira, a fim de levantar dados de materiais, recursos e metodologias de impacto que possam ser utilizados neste trabalho;
- Ferramentas e metodologias baseadas em ACV aplicadas e aplicáveis à construção civil.

2.2 Definição e normatização de sistemas construtivos

É comum avaliar o desempenho de edifícios a partir da soma dos atributos individuais de cada material que os compõem. Trata-se de um equívoco, pois os materiais isolados podem possuir desempenhos satisfatórios, mas, ao fazer parte de um sistema construtivo, devem atender ao critério de desempenho exigido pelo conjunto. No caso do desempenho acústico, por exemplo, uma parede de alvenaria com R_w (índice de redução sonora ponderado) de 40dBA, ao ser montada juntamente com uma esquadria em vidro com R_w de 30 dBA, terá seu índice de redução sonora variável, dependendo da forma de montagem (GARCIA, 2003). Na questão do impacto ambiental, o mesmo poderá acontecer, pois os processos de montagem fazem parte do sistema construtivo. Esses processos, por sua vez, também causam impactos que se somam aos impactos ambientais individuais de cada componente. A revisão a seguir compila conceitos de sistema construtivo e apresenta normas técnicas de desempenho de edificações em vigor no Brasil.

2.2.1 Conceito de sistema construtivo

Systema é um termo de origem grega que significa reunião, grupo, associação (WEIDLE, 1995). Sistema construtivo é o conjunto de elementos que, integrados, formarão a edificação. O resultado depende não só de cada um dos materiais, mas da forma de junção entre esses materiais, ou seja, da técnica construtiva empregada. De acordo com FERREIRA (200-), sistema construtivo é um conjunto de processos construtivos, um sistema de produção cujo produto é o próprio edifício. Pode-se ainda

encontrar na literatura termos como “tipologias construtivas” ou “soluções construtivas”. Acredita-se que a melhor definição deva incluir esses termos, pois o sistema construtivo descreve uma tipologia construtiva, ou seja, uma caracterização do edifício baseada em soluções e materiais construtivos que resultam em um objeto final. MATEUS (2004) define como sistema construtivo a combinação de soluções construtivas na definição dos principais elementos de construção: pavimentos, paredes, coberturas, etc.

Fazendo uma analogia com o corpo humano (FIG. 2.1), pode-se considerar o edifício como o corpo e cada parte como um dos sistemas que o compõe. Ou seja, cada um possui um funcionamento próprio e é formado por elementos individuais, como as células e órgãos, mas só possuem uma atividade plena quando integrados a outros. Em outras palavras, um sistema deixa de existir quando isolado dos demais (BLUMENSHEIN, 2004). Essa junção e suas interfaces constituem o corpo humano em prol de uma função específica, que é a de dar vida plena a um ser humano e funções fundamentais, como movimento, respiração, alimentação, etc.

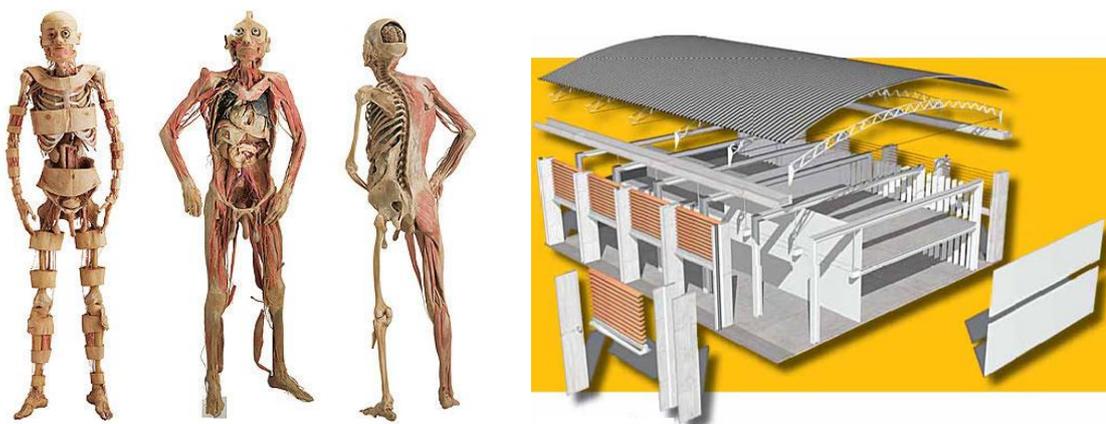


FIGURA 2.1 - Organismo humano *versus* Sistema Construtivo

Fonte: <<http://www.bodiesrevealed.com>>. Acesso em: 25 maio 2009. ARQUITETURA & AÇO, 2009.

Analogamente, os edifícios são compostos de sistemas dentro de sistemas, considerando diferentes níveis de complexidade dos mesmos. Como os elementos estruturais, os elementos de vedação ou de fundação só fazem sentido se conferem o abrigo para as

atividades humanas, que é o objetivo principal de uma edificação. Nesse contexto, é importante diferenciar sistema construtivo de edifício. O que difere os dois conceitos são as questões de implantação, com soluções que garantam habitabilidade, uso de água e energia, próprios do edifício pronto para o funcionamento (FIG. 2.2). Apesar dessa separação conceitual, um edifício não existe sem o sistema construtivo.

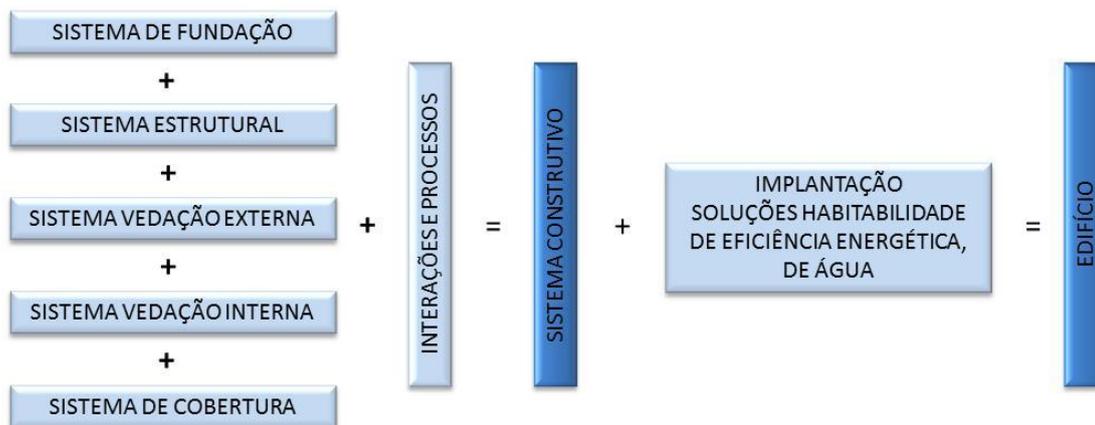


FIGURA 2.2- Distinção teórica entre sistema construtivo e edifício.

Dessa forma, vigas e pilares não possuem função no edifício se forem considerados separadamente. Somente quando se juntam por meio de ligações específicas, e através de processos construtivos, cumprem o papel estrutural. O mesmo raciocínio pode ser feito para outros sistemas construtivos, tais como a alvenaria. Um bloco de tijolo cerâmico, por exemplo, não cumpre a função de limitar e proteger lateralmente os ambientes. Somente quando interage com outros blocos, através de processos construtivos, é capaz de realizar a função vedante. Assim, o sistema construtivo é uma parte do edifício, composta de materiais modificados por processos e interações, que executa determinada função. Esse pensamento sistêmico implica em uma análise de ligações e funções, diferente de uma análise cartesiana, onde se soma propriedades individuais (BLUMENSHEIN, 2004).

O sistema estrutural condiciona os demais sistemas à sua função. É uma parte do sistema construtivo que define e modifica os demais. Atribui-se a ele a flexibilidade do edifício. O sistema de divisórias internas delimita funções espaciais, que por sua vez está limitado pelo sistema estrutural. Cada um desses sistemas é formado por

componentes, elementos e materiais, que possuem uma complexidade de montagem. O sistema de vedação em alvenaria, por exemplo, não está limitado ao uso de blocos, sejam estes cerâmicos, em concreto ou qualquer outro material. Para compor todo sistema é necessário utilizar argamassa de assentamento, emboço, reboco, pintura e revestimento (FIG. 2.3).



FIGURA 2.3 – Sistema de vedação.

Fonte: NASCIMENTO, 2002.

Os sistemas construtivos podem ser classificados em abertos ou fechados. Estes são sistemas cujos componentes são predefinidos, permitindo poucas variações de materiais. Um exemplo é o *Light Steel Framing*, um sistema construtivo composto por vedações externas estruturais em perfis galvanizados, placas de madeira especial (OSB), isolamento térmico e vedação interna em gesso acartonado tipo *dry wall*. (FIG. 2.4).



FIGURA 2.4 – Sistema Light Steel Framing

Já nos sistemas construtivos abertos, a montagem do todo é baseada na seleção dos subsistemas (FIG. 2.5). No Brasil, tradicionalmente, são utilizados sistemas construtivos abertos, nos quais se define uma estrutura (seja ela metálica ou em concreto –, um tipo de vedação – normalmente alvenaria de blocos cerâmicos) e uma cobertura. A escolha de cada subsistema é independente e baseada em parâmetros diversos, que podem ser por conformidade, por desempenho (estrutural, térmico, acústico, estanqueidade, etc.), por aspectos econômicos ou valores estéticos agregados, dentre outros.



FIGURA 2.5 – Sistemas construtivos abertos.

Nos sistemas construtivos abertos ocorre “uma grande variação da combinação de insumos e técnicas que os reúnem no processo construtivo, em geral através de funções

de produção *one off*, isto é, não seriadas” (ROCHA, 1997). Isso impede a sistematização do processo, dificultando o controle de qualidade do produto final. Além das inúmeras combinações, existem variabilidades e contingências, sazonais ou incidentais, definidas por alterações decorrentes de variações da matéria-prima, e incluem a variabilidade da mão-de-obra como recurso humano. Como variabilidade da mão-de-obra, tem-se as alterações no ânimo e o cansaço por parte do trabalhador. Já as contingências são influências do contexto externo, como as organizações sindicais, a disponibilidade do produto (ROCHA, 1997). A partir dessas informações, pode-se perceber que um sistema construtivo aberto é único. Um mesmo edifício, com o mesmo projeto e os mesmos subsistemas construtivos não são idênticos, pois as variabilidades e as contingências destes definem produtos distintos.

As especificações de materiais componentes de um sistema construtivo devem ser feitas de forma holística, considerando os diferentes aspectos de construção e de desempenho no uso. Entretanto, essa não é a realidade da construção civil brasileira. Na falta dessa visão, o setor da construção civil é o maior gerador de resíduos sólidos (JOHN, 2000). Isso ocorre em função da falta de planejamento dos processos construtivos, das incompatibilidades dimensionais entre os elementos e do uso do canteiro de obras para fabricação de alguns componentes, como o concreto. Dessa forma, o desempenho do processo de montagem de um sistema construtivo é alterado ao longo de sua vida útil. Os processos construtivos convencionais possuem características artesanais que não garantem que a combinação entre os materiais de qualidade e a execução resulte em um sistema padronizado, além da variabilidade humana já mencionada.

Por outro lado, na construção industrializada, onde se enquadram sistemas construtivos abertos ou fechados, componentes ou sistemas inteiros são fabricados em série e montados na obra através de processos denominados “secos”. Mesmo em construções industrializadas, a variável humana produz edifícios distintos, mas tal variabilidade é menor do que a da construção convencional, pois o processo se aproxima de uma linha de montagem industrial.

Mesmo considerando a industrialização dos componentes do sistema, deve-se levar em conta a compatibilidade entre os mesmos. Essa compatibilidade deverá contemplar as

características físico-químicas, associativas e modulares, facilitando a montagem, a durabilidade e a adaptabilidade para gerar menos resíduos, associados a processos de corte de elementos e de descarte.

A referência da construção industrializada é a indústria automobilística, onde o processo de industrialização é avançado, o que garante a qualidade técnica de todos os automóveis de uma mesma série (FIG. 2.6). Um defeito de fábrica é identificado por série e o controle industrial é capaz de identificar todos os veículos que devem ser reparados (*recall*).



FIGURA 2.6 – Linha de montagem de um automóvel

Fonte: <www.blogautoestrada.com.br>. Acesso em: 25 maio 2009.

Ao entender o sistema construtivo como uma rede complexa de materiais e interfaces, compreende-se que apenas as especificações de “bons” materiais são insuficientes para garantir uma obra de qualidade e “limpa”. Discussões acerca de qualidade e de racionalização da construção antevêm o tema da sustentabilidade ambiental dos materiais de construção. Antes mesmo de se pensar em selecionar materiais que produzem menor impacto ambiental, já se pensava em reduzir perdas na construção civil.

FRANCO e AGOPYAN (1993) focam a racionalização construtiva na fase de projeto em busca da qualidade da obra, através da construtibilidade. Para tal, definem como

premissas a construção sequencial, a redução das operações, a simplificação do projeto dos elementos, a padronização dos elementos e a coordenação modular.

FERREIRA e FREIRE (2003) utilizam dos conceitos de construtibilidade e produção limpa (*clean construction* e *lean construction*) para selecionar os sistemas construtivos (TAB. 2.1). Para tal, apresentam a modulação como um critério importante, destacando a redução do número e tipos de componentes, a previsão de kits prontos, a flexibilidade de execução através da intercambialidade de peças, a definição de tolerâncias dimensionais e o detalhamento e funcionalidade dos elementos de ligação.

TABELA 2.1 – Critérios de avaliação de sistemas construtivos segundo princípios da produção enxuta e da construção limpa

Fonte: (FERREIRA e FREIRE 2003)

PROJETO	LEAN DESIGN (GESTÃO DE PROJETOS, ESPECIFICAÇÕES E MÉTODOS)	Implantação da edificação no lote	
		Adequação dimensional, física e formal	Configuração e área dos compartimentos adequadas ao uso
			Definição de aberturas
		Facilidade de execução	Detalhamento e clareza das informações
		Previsão de ampliação e evolução da edificação	
		Gestão de projetos	Compatibilidade entre partes do projeto
		Detalhamento do método construtivo	
	Modulação	Flexibilidade de execução	Combinabilidade dos componentes
			Disposição dos compartimentos
			Disposição dos elementos de fachada
		Industriabilidade	Redução dos diferentes tipos de componentes
			Redução do número de medidas utilizadas no projeto
			Previsão de kits de cômodos prontos

		Montagem	Definição de tolerâncias
			Detalhamento e funcionalidade das juntas
	Capacidade para preencher a função requerida		
	Implementação logística		
	Impacto no preço pessoal		
	Capacidade para incorporação de serviços vizinhos		
	Evitar prejuízos		
	Capacidade para mudanças		

Os critérios da produção enxuta e da construção limpa são estratégias de redução de custos a partir da redução de resíduos e, conseqüentemente, do impacto ambiental nesta etapa. Esses conceitos contemplam fatores inerentes ao sistema construtivo, já que tratam da interface entre os materiais especificados. Nas seções seguintes, será possível constatar que estes conceitos são resgatados por alguns dos certificadores ambientais.

Pode-se sumarizar algumas ações dos sistemas construtivos de aplicação direta nos possíveis impactos ambientais do edifício, tais como:

- O uso de materiais pré-fabricados;
- A combinabilidade dos componentes;
- A redução dos diferentes tipos de componentes;
- A modulação do projeto.

Para a obtenção dos impactos ambientais do sistema construtivo, acredita-se que o processo de conhecimento, além de sua avaliação, deverá passar pela desconstrução do sistema final em subsistemas, contemplar os processos construtivos e o desempenho do conjunto. Da mesma forma que o corpo humano precisa que cada um dos subsistemas atenda a certos pré-requisitos para que o todo funcione bem, os sistemas construtivos também devem ter critérios mínimos de “qualidade” para que o edifício possa atender às necessidades de ocupação humana e o ambiente que o cerca. Esses critérios mínimos de qualidade são temas de estudos e de normas nacionais a serem discutidas nesta próxima

seção.

2.2.2 Normatização de desempenho das edificações

O conceito de eficiência está relacionado à capacidade de realizar funções pré-determinadas com o melhor aproveitamento dos recursos. No caso do sistema construtivo, deve-se considerar o sistema em uso e as características dos materiais que o compõem. Já na avaliação de materiais, é preciso levar em conta a qualidade de produtos, que é atestada a partir da Avaliação de Conformidade feita pelo Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO) ou por laboratórios acreditados pelo órgão. A definição de conformidade é o atendimento aos requisitos especificados para cada tipo de produto. Essa avaliação é aplicada aos produtos de uma maneira geral, não só os da construção civil, e é baseada em normas brasileiras específicas (INMETRO, 2007). Na ausência de normas técnicas prescritivas para a construção civil, o Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT – PBQP-H) analisa o desempenho desses materiais². Essa é uma maneira de incentivar a criação de sistemas inovadores que, justamente por serem novos, não são contemplados pelas normas.

Considerando os materiais constituintes “conformes”, a questão passa para o desempenho do sistema construtivo relativo a uma determinada função. Nesse sentido, existem performances mínimas que devem ser atendidas pelo sistema construtivo ao longo de sua vida útil. Em 1984, foi lançada a norma internacional de desempenho de edifícios (ISO 6241 – ISO 1984). A partir dela, os requisitos passaram a determinar os fins – a função que os sistemas devem atender – e não os meios, que definiriam materiais, dimensões mínimas, etc. As normas que determinam requisitos a partir dos meios são normas prescritivas.

Ainda sobre a abordagem de desempenho de sistemas construtivos, destaca-se a rede temática *Performance Based Building Network* (PeBBu), organizada dentro do CIB (*International Council for Research and Innovation in Building Construction*), que é uma organização mundial em busca do avanço da tecnologia da construção civil. A

²Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/pbqp-h> Acesso em 19 jul. 2011

PeBBu foi criada oficialmente em 2001 e se destaca por aplicar o conceito de desempenho das construções ao longo do ciclo de vida das edificações. De acordo com BORGES (2008), essa rede temática tem como objetivos:

1. avaliar como uma edificação opera e não como é construída;
2. focalizar os requisitos dos usuários;
3. avaliar os requisitos de desempenho ao longo de todo o ciclo de vida da edificação e dos seus componentes;
4. incentivar a inovação de materiais, componentes, sistemas e projeto;
5. promover a flexibilidade necessária para a seleção do nível apropriado de desempenho;
6. estabelecer os níveis de desempenho em códigos e padrões que reflitam as expectativas da sociedade.

Assim, o conceito de desempenho tem como foco o uso final do edifício, relacionado às necessidades dos usuários. Além disso, são estratégias que permitem inovação, pois não prescrevem materiais, mas sim funções finais. É possível perceber que o conceito de desempenho está profundamente comprometido com o conceito de sistema construtivo, pois exige eficiência após a construção, que inclui conjunto de materiais, interfaces, variabilidade de mão-de-obra, dentre outros.

As discussões sobre desempenho de edificações no Brasil vêm ocorrendo desde a década de 80, a partir do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (BORGES, 2008). No ano de 2000, a Caixa Econômica Federal financiou o projeto de pesquisa “Normas Técnicas para Avaliação de Sistemas Construtivos Inovadores” com vistas a uma demanda do próprio banco em conceder o financiamento de empreendimentos de tecnologia não convencional. A partir desta pesquisa criou-se uma comissão com diversos agentes da construção civil para discutir a norma de desempenho ABNT NBR 15575:2008, que foi publicada no Diário Oficial da União em 12 de maio de 2008, e que entrará em vigor em março de 2012.

A norma trata do desempenho de edificações de até cinco pavimentos e se baseia nesse

conceito de uso do edifício com os desempenhos para os quais ele foi projetado. Para tal, define os conceitos de vida útil, período em que o sistema apresenta o desempenho mínimo previsto em projeto, e durabilidade, isto é, a capacidade do sistema de atender a esse desempenho durante certo período de tempo. Vida útil e durabilidade correspondem à etapa do ciclo de vida de um edifício relacionada ao uso do sistema.

De acordo com essa norma, o edifício ou sistema construtivo deverá satisfazer as exigências do usuário sob certas condições de exposição ao longo de sua vida útil. Esses critérios podem ser exigidos, de uma forma geral, pelo edifício inteiro ou por partes. A exigência por partes decorre da característica da construção civil em compor um edifício por inúmeras combinações de estrutura, vedações, sistemas hidrossanitários, etc. Assim, estimula-se o desenvolvimento de sistemas inovadores com critérios específicos para cada uso. Os sistemas construtivos avaliados pela norma de desempenho são: estrutura, pisos internos, vedação vertical externa, vedação vertical interna, cobertura e hidrossanitários.

O fato de priorizar o desempenho significa atender às exigências do usuário final. Isso implica interpretar necessidades gerais, por mais que sejam subjetivas, a fim de estabelecer um critério mínimo. As normas específicas da construção civil não são substituídas pela ABNT NBR 15575: 2008, mas coexistem nessa norma, já que algumas são critérios prescritivos, muitas vezes esses critérios correspondem à conformidade de materiais e processos da etapa de construção. As legislações específicas são referenciadas na norma de desempenho, passando por normas brasileiras de conformidade de materiais, segurança estrutural, critérios gerais de conforto térmico, acústico e lumínico, procedimentos construtivos, até padronizações e legislações internacionais (ISO, ASTM, Eurocode³).

Os critérios de desempenho aplicados aos sistemas construtivos estão classificados em critérios de segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Cada um é subdividido em subcritérios específicos, tais como estão dispostos na TAB. 2.2.

³ ISO – International Organization for Standardization; ASTM – American Society for Testing and Materials; e *European Standard* – Legislação para projetos estruturais, iniciado pelo Institute Civil Engineers

TABELA 2.2 – Classificação dos critérios de desempenho da ABNT NBR 15575: 2008

Segurança	Habitabilidade	Sustentabilidade
Segurança Estrutural; Segurança contra fogo; Segurança no uso e operação.	Estanqueidade; Conforto Acústico; Conforto Térmico; Conforto Lumínico; Saúde, higiene e qualidade do ar; Funcionalidade e acessibilidade; Conforto tátil e antropodinâmico.	Durabilidade; Manutenibilidade; Impacto Ambiental.

Alguns dos critérios apresentados na TAB. 2.2 são também temas da construção sustentável, tais como: conforto térmico, conforto lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar (dentro do critério de habitabilidade) e os critérios de sustentabilidade. De acordo com BORGES (2008), a questão ambiental não foi prioritária no processo de discussão da norma, pois foi considerada um estudo em paralelo, o que alterará, futuramente, os desempenhos aos quais a construção civil está acostumada.

Nesse sentido, o trabalho aqui desenvolvido se situa entre a discussão da norma de desempenho e as discussões sobre critérios ambientais para edificações. O conceito de desempenho da ABNT NBR 15575: 2008 aplicado aos sistemas construtivos é uma ferramenta de definição de unidade funcional, base de uma ACV, tal como será descrita nas seções a seguir. As questões ambientais importantes ao sistema construtivo serão indicadas nesta tese, podendo servir de insumos para uma discussão futura dos critérios de sustentabilidade.

Durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental são critérios de sustentabilidade, embora possam designar outros critérios relacionados à construção sustentável no quesito habitabilidade (conforto térmico e conforto lumínico). Por durabilidade entende-se o período, contado a partir do Auto de Conclusão da Edificação, até o momento em que o edifício deixa de cumprir as funções que lhe foram atribuídas, quer pelo estado insatisfatório de desempenho, quer pela obsolescência de uso. Já a manutenibilidade é a capacidade do edifício de permitir inspeções prediais e intervenções de manutenção previstas. Quanto à adequação ambiental, de acordo com a ABNT NBR 15575:2008, tem como quesitos:

1. a implantação de empreendimentos com o mínimo de alteração no ambiente natural;
2. a seleção e o consumo de materiais que possuam um menor impacto ambiental, desde a extração até sua utilização final;
3. a utilização de madeiras que sejam certificadas, que não estejam enquadradas na lista de extinção;
4. a utilização de um sistema de gestão de resíduos na obra e a avaliação de inventários de ciclo de vida dos materiais na sua seleção;
5. o gerenciamento da água na obra e no uso do edifício e do consumo energético;

A FIG. 2.7 mostra, esquematicamente, os critérios relacionados à sustentabilidade na ABNT NBR 15575: 2008

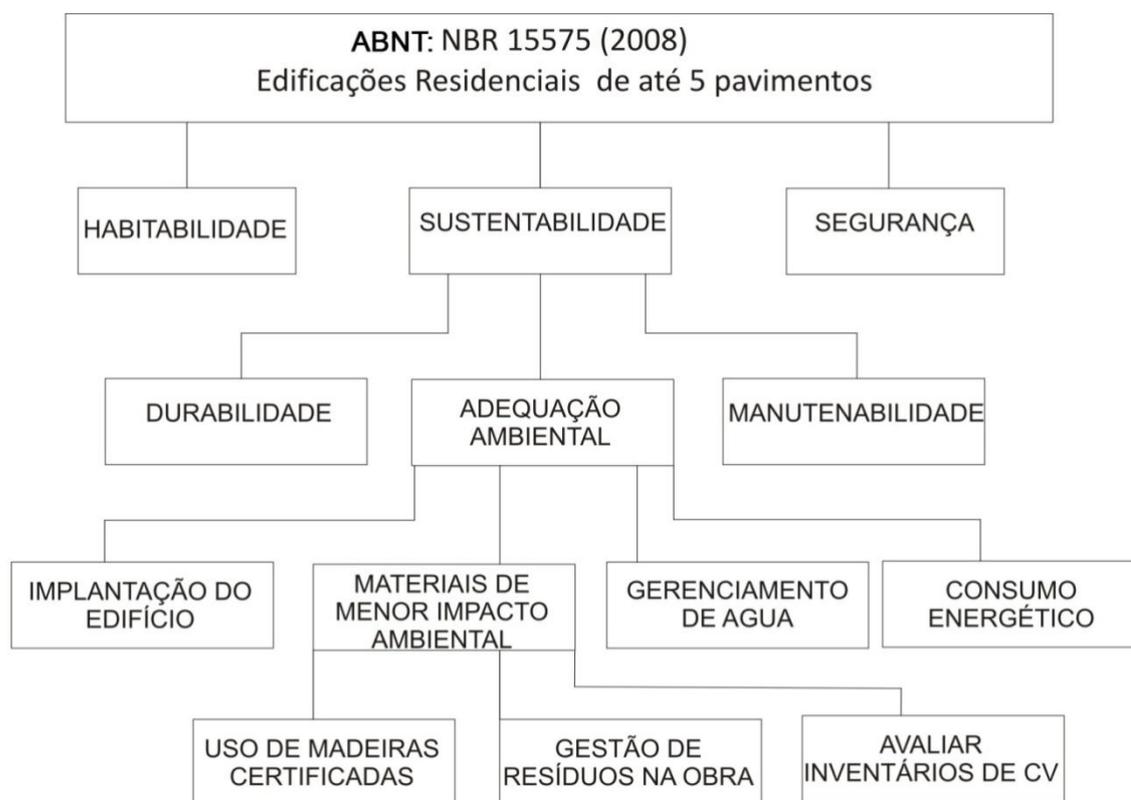


FIGURA 2.7 – Critérios de sustentabilidade na NBR 15575.

A partir desses itens, percebe-se um indicativo de desempenho ambiental dos sistemas construtivos, mas de forma qualitativa, já que este é um universo de pesquisa que vem sendo trabalhado paralelamente. No próprio texto da norma admite-se que, no estágio atual, não existem critérios e métodos que possam ser estabelecidos para avaliar este quesito no Brasil. Por falta desses critérios, algumas indicações na norma de desempenho devem ser analisadas. O indicativo de uso de madeira certificada pode trazer a ideia errada de que a madeira é o material de menor impacto ambiental na construção civil. Entretanto, outros fatores, como vida útil do sistema composto da madeira, bem como a origem e o meio de transporte utilizado na etapa de construção, devem ser considerados. Neste sentido, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é a ferramenta adequada para selecionar e avaliar sistemas construtivos, ao considerar os impactos desde a fabricação, passando pela vida útil, até culminar no desmonte do sistema.

Serão apresentados o conceito de ACV e seu estado da arte no Brasil e na construção

civil. Seu uso é incipiente no Brasil, pois existem poucos inventários de ciclo de vida, os quais estão relacionados à indústria de produtos de uso imediato, que é a origem da ACV. Essa ferramenta tem o objetivo de avaliar um processo ou produto em si, ou comparar mais de um produto do ponto de vista ambiental. Assim, a ACV e a norma de desempenho se complementam, pois o desempenho prescrito na ABNT NBR 15575:2008 pode alimentar os parâmetros entre os sistemas analisados pela ACV enquanto esta pode ser um método de análise de adequação ambiental. A própria ABNT NBR 15575 prevê a ACV como uma ferramenta de avaliação ambiental, mas como não existem inventários brasileiros, a ABNT NBR 15575 indica a utilização de inventários para avaliação dos sistemas construtivos. Por outro lado, a ACV compara sistemas ou materiais que possuem a mesma unidade funcional, ou seja, que desempenham as mesmas funções, cujas substituições possam ser feitas sem prejuízo de algum critério de desempenho definido previamente. Assim, os critérios de desempenho mínimos apresentados na ABNT NBR 15575 podem ser parâmetros para a unidade funcional da ACV. Esta relação está esquematizada na FIG. 2.8.

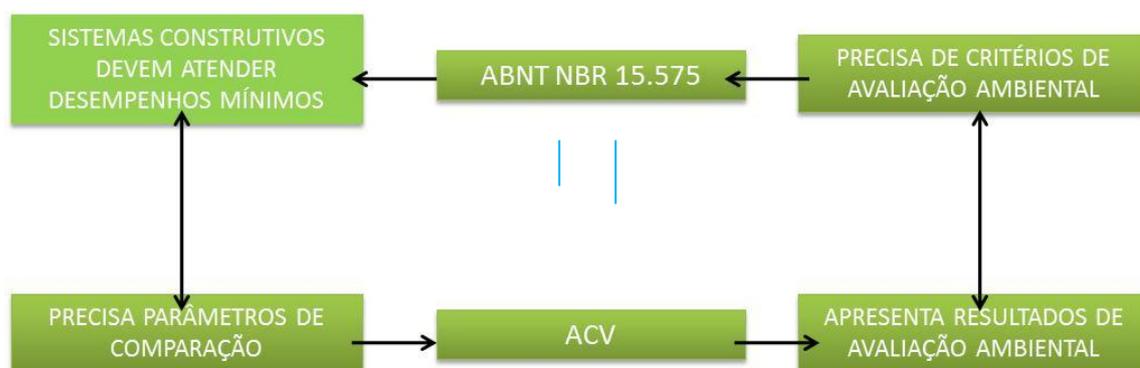


FIGURA 2.8 – Relação entre a Norma de Desempenho e a ACV

Além de não existirem inventários de ciclo de vida dos materiais, não há informações suficientes sobre o processo de fabricação e transporte dos componentes da edificação. Uma das formas de obter informações sobre os componentes é a declaração ambiental prevista pela ABNT NBR ISO 14020:2002, que é uma rotulagem voluntária que auxiliaria na seleção dos sistemas construtivos. A recomendação do uso da madeira certificada é um dos exemplos do emprego da declaração ambiental dos fabricantes no processo de seleção de materiais. A ACV em si é definida pela ABNT NBR ISO 14040:

2009, que será tratada nas seções seguintes.

2.3 Iniciativas para desenvolvimento da construção sustentável no Brasil

Desde o início das discussões sobre a construção sustentável, inúmeras propostas de certificadores e guias de boas práticas vêm sendo apresentadas no mercado brasileiro. Essas iniciativas podem se dividir em:

- Sistemas de avaliação ambiental de origem internacional;
- Guias de boas práticas relacionados a grupos específicos;

Os sistemas de avaliação ambiental são ferramentas focadas na análise do desempenho e estão relacionadas aos *benchmarkings*, que são parâmetros de referência que podem variar em função da tipologia e da região. As análises podem ter diferentes objetivos: estabelecer metas a serem alcançadas no quesito ambiental, medir ou monitorar o desempenho (BARATELLA, 2010).

Atualmente, existem vários sistemas de avaliação ambiental pelo mundo, e parte deles vem se internacionalizando. No Brasil há o *Leadership Energy and Environmental Design* o LEED; o “Alta Qualidade Ambiental” (AQUA), a partir do certificador francês *Haute qualité environnementale* (HQE); e o BREEAM, sistema certificador inglês. Os edifícios que buscam a certificação são, em sua maioria, comerciais, aliando a imagem da empresa a uma imagem “sustentável”. Mais de 50% dos edifícios certificados pelo LEED até 2011 são comerciais (LEED, 2011). Desses, o AQUA passou pelo processo de adaptação para aplicação no Brasil, enquanto o BREEAM e o LEED são aplicados nos mesmos moldes de seus países de origem. O BREEAM está iniciando sua atuação no Brasil e se auto-declara o sistema líder em certificação no mundo. A adaptação desses sistemas é importante, pois os aspectos considerados nesses certificadores estão baseados em leis e práticas próprias, que, por sua vez, são definidas por aspectos culturais e tradições construtivas de cada país de origem, o que pode

acarretar em erros na interpretação dos resultados (FOSSATI, 2008).

Apesar dos sistemas certificadores abordarem os aspectos da construção sustentável, sua aplicação no Brasil é feita, predominantemente, em empreendimentos de alto padrão, onde a etapa de planejamento de obra é definidora de todos os procedimentos e especificações. Infelizmente, isso não abarca a maior parte da construção civil brasileira, que é constituída, em sua maioria, de construções mal planejadas, com definições no canteiro de obras. A submissão dos edifícios aos sistemas certificadores deve ser feita na fase de projeto, o que torna estes procedimentos inadequados em países como o Brasil.

A seguir será feita uma breve explanação sobre os critérios avaliados por cada um desses certificadores e guias de boas práticas. A análise da aplicabilidade ao Brasil se restringirá à seleção de materiais. A título de comparação, serão avaliadas as metodologias direcionadas para novas construções, quando essas existirem, o que também facilita a relação dos certificadores com a ABNT NBR15575. Na seção seguinte (2.4), são resgatados itens específicos relacionados à seleção de materiais e sistemas construtivos.

2.3.1 LEED NC

O LEED NC é uma variação do indicador LEED voltado para novas construções. De acordo com seu sistema de pontuação, as estratégias de avaliação se pautam em:

- Estratégias de projeto que resultam em melhor aproveitamento dos recursos;
- Seleção de materiais ambientalmente responsáveis e materiais de alta performance, equipamentos e sistemas;
- Práticas de construção de menor impacto ambiental.

Por ser um sistema norte-americano ainda não adaptado, toda a avaliação é feita em planilhas em língua inglesa, o que pode dificultar o entendimento dos critérios por um

público leigo, além das disparidades regionais. Dessa forma, alguns termos aqui apresentados não são traduzidos, para evitar erros de interpretação.

O sistema trabalha por pontuações e cada critério apresenta uma ponderação. Consiste em 93 itens, dos quais 8 são pré-requisitos. Os temas avaliados pelo LEED NC são: espaços sustentáveis; uso racional da água; energia e atmosfera; materiais e recursos e qualidade ambiental interna; inovação e processo de projeto.

Dos 110 pontos distribuídos nos diferentes créditos, 19 estão ligados à questão dos materiais, e destes, 15 estão na categoria materiais e recursos, 4 na categoria qualidade ambiental. Os outros critérios estão divididos em: 10 pontos para o espaço sustentável, 10 para uso racional da água, 35 para energia e atmosfera, 15 para qualidade ambiental interna, 6 para inovação e processo do projeto.

2.3.2 AQUA

O certificador AQUA foi adaptado do certificador francês HQE pela Fundação Vanzolini, que por sua vez é ligada ao Departamento de Engenharia de Produção da Universidade de São Paulo (USP). O HQE é afiliado à *Sustainable Building Alliance*⁴.

Diferente do LEED, que é dado em pontuação, o AQUA avalia o desempenho, que é expresso em 3 níveis: BOM (mínimo), SUPERIOR (boas práticas) e EXCELENTE (comparativo a outros empreendimentos). Segundo o certificador AQUA, "... para obter a certificação, devem ser satisfeitas as exigências do referencial de modo que pelo menos 3 das categorias atinjam o nível 'Excelente' e no máximo 7 estejam no nível 'Bom' ” (AQUA, 2010).

Existem dois referenciais técnicos de certificação que visam avaliar desempenhos alcançados, sendo eles:

⁴ Disponível em: <http://www.sballiance.org/> Acesso em 19 maio 2011.

- A. SGE: Sistema de Gestão do Empreendimento
- B. QAE: Qualidade Ambiental do Edifício: para avaliar o desempenho arquitetônico e técnico da construção.

O Sistema de Gestão do Empreendimento é a coluna vertebral do empreendimento, pois se relaciona com a tomada de decisões na concepção do edifício. Neste quesito, avalia-se a preocupação com a coerência global, analisando as interações entre as categorias e as escolhas que elas geram. Seus critérios são: comprometimento do empreendedor; implementação e funcionamento; gestão do empreendimento e aprendizagem.

Com relação à Qualidade Ambiental do Edifício (QAE), algumas categorias analisadas estão relacionadas a normas brasileiras existentes e a programas nacionais de qualidade (PBQP-H) e normatização (INMETRO). Neste sentido, o que a certificação faz é garantir a aplicação de iniciativas já existentes na construção civil, principalmente para garantir a qualidade de processos e produtos e identificar, nessas iniciativas de redução, impactos positivos na avaliação ambiental. As categorias e referências nacionais existentes estão listadas na TAB. 2.3 a seguir:

TABELA 2.3 – Critérios de avaliação do sistema AQUA - QAE

Critério	Referencial
Sítio e construção	
Relação do edifício com seu entorno;	Relatório de Impacto de vizinhança Códigos de Obra Locais Lei de Uso e Ocupação do Solo do Município
Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos;	Programa Setorial de Qualidade – PBQP-H SINAT – PBQP-H INMETRO NBR ISO 14021, 14024, 14025 NBR 9050
Canteiro de obras com baixo impacto ambiental	
Gestão	

Gestão de energia	Etiquetagem INMETRO ABNT NBR 15220-3 NBR 7198 NBR 15569
Gestão de água	Normas da ABNT PSQ do PBQP-H NBR 5626
Gestão de resíduos de uso e operação do edifício	Não há referencial, apenas critérios.
Manutenção – Permanência do desempenho ambiental	Não há referencial, apenas critérios.
Conforto higrotérmico	ABNT NBR 15575-1 Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos ABNT NBR 15220-3 - Zonas Bioclimáticas brasileiras
Critério	Referencial
Conforto	
Conforto acústico	ABNT NBR 15575-4 Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Sistemas de vedações verticais externas e internas.
Conforto visual	ABNT NBR 15215 – Iluminação natural – Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural ABNT NBR 15215 – Iluminação natural – Parte 3: Procedimentos de cálculo para determinação da iluminação natural em ambientes internos.
Conforto olfativo	ABNT NBR 13103 - Adequação de ambientes residenciais para instalação de aparelhos que utilizam gás combustível. Código de obras local.

	ABNT NBR 8160 - Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução.
Saúde	
Qualidade sanitária dos ambientes	Legislação Estadual (se houver)
Qualidade sanitária do ar	ABNT NBR 13103 - Adequação de ambientes residenciais para instalação de aparelhos que utilizam gás combustível. Código de obras local PROCEL
Qualidade sanitária da água	NBR 7198:1993 Legislação local

O certificador AQUA utiliza a metodologia francesa, mas baseia-se na legislação e nas recomendações brasileiras. Isso demonstra que muitas práticas que levam ao baixo impacto ambiental já existem na forma de legislação ou de iniciativas para a construção civil. Essas iniciativas estão relacionadas ao controle de qualidade, à minimização de desperdício e à aplicação de conceitos de eficiência energética, já existentes no Brasil.

2.3.3 BREEAM

O BREEAM é o mais antigo dos certificadores, desenvolvido no Reino Unido por pesquisadores do órgão BRE e do setor privado, mas possui versões regionalizadas para diferentes países, embora ainda não exista uma versão brasileira (SILVA, et al, 2003). As áreas avaliadas são gestão, uso de energia, saúde e bem-estar, poluição, transporte, uso do solo, ecologia, materiais e água. As pontuações são graduais e conceituais, indo de mínimo, bom, muito bom, até excelente. O quesito materiais contribui com 7,2% da pontuação total da certificação, seguido de resíduos (6,4%), poluição (2,8%) e águas superficiais (2,2%), dentre os que possuem menor peso. Estes são pré-requisitos para a certificação BREEAM.

2.3.4 Casa azul

O Selo Casa Azul é uma iniciativa da Caixa Econômica Federal de classificação socioambiental de empreendimentos habitacionais a partir de 2010. É aplicável a empreendimentos financiados pela Caixa Econômica Federal com valores limites de R\$80.000,00 a R\$130.000,00 dependendo da região (JOHN, 2010).

O início do seu processo é a definição da “Agenda do Empreendimento”, que se baseia na delimitação dos itens realmente importantes para o empreendimento específico em função de condições sociais, ambientais regionais e do empreendimento, de características funcionais, de características da vizinhança, de exigência legal específica para o local do empreendimento, dos usuários e suas características, de custos, visando retorno de investimentos a longo prazo e critérios específicos identificados pelo empreendedor e de gestão socioambiental.

Além desses critérios, é responsabilidade do empreendedor a elaboração de uma agenda sócio-ambiental, onde se incluem os responsáveis e autoridades nas atividades previstas, a garantia de competência técnica dos agentes envolvidos, os contratos, o controle de documentos e registros, além da comunicação efetiva de ações e objetivos entre os envolvidos. Por fim, deve-se prever também uma estratégia para o monitoramento da Agenda do Empreendimento. Ela é aplicada durante a análise da viabilidade técnica do empreendimento. A gradação vai de Bronze (critérios obrigatórios), passa por Prata (obrigatórios + 6 critérios de livre escolha), até Ouro (obrigatórios + 12 critérios de livre escolha).

Os critérios do Selo Casa Azul tratam da qualidade urbana, do projeto e conforto, da eficiência energética, da conservação de recursos materiais, da gestão da água e das práticas sociais. Desses, o selo possui dois itens obrigatórios em qualidade urbana, cinco em projeto e conforto, três em eficiência energética, três em conservação de recursos, três em gestão de água e três em práticas sociais.

A quarta categoria do Selo Casa Azul trata da conservação de recursos materiais. As preocupações principais nesta categoria são a desmaterialização, a redução e destinação de resíduos e a qualidade dos produtos. Nesta categoria existe, tal como no processo AQUA, a relação com critérios de qualidade de materiais e componentes obrigatórios dos Programas Setoriais de Qualidade (PSQ) do PBQP-H. É previsto, ainda nesta categoria, que os componentes industrializados ou pré-fabricados devem possuir desempenhos mínimos previstos pela NBR 15575. Deve-se apresentar aprovação técnica emitida pelo Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT), PBQP-H.

2.3.5 Guia de sustentabilidade na construção – SINDUSCON-MG

O guia de boas práticas proposto pelo SINDUSCON-MG apresenta o conceito de ciclo de vida para a avaliação de sustentabilidade do edifício. As etapas deste ciclo são divididas em concepção, planejamento/projeto, construção, uso e ocupação, requalificação/ desconstrução/ demolição, e suas recomendações são enquadradas nas etapas de concepção e planejamento/ projeto. Essas são nomenclaturas do próprio guia. Ele define a Agenda do Empreendimento, assim como no Selo Casa Azul, embora não tenha o mesmo conceito. Neste caso, a agenda do empreendimento é o alinhamento entre a ação concreta e entorno e o potencial retorno socioambiental (SINDUSCON-MG, 2008).

Os temas da qualidade da implantação, gestão de águas e efluentes, gestão de energia e emissões, gestão de materiais e resíduos sólidos e qualidade do ambiente interno são tratados nas duas etapas consideradas pelo guia do SINDUSCON. Na concepção do edifício, são abordados aspectos estratégicos e conceituais e, na etapa de planejamento e projetos, os mesmos aspectos são aprofundados e colocados em prática através de especificações de projeto.

O objetivo do guia é orientar através de dicas e direcionamentos. Não possui nenhum aspecto de classificação e aborda conceitos conhecidos da construção sustentável, apenas compilando-os em um documento específico.

2.3.6 “Teorias e práticas em construções sustentáveis no Brasil” – Secretaria do Estado de Ambiente do Rio de Janeiro

O documento intitulado “Teoria e práticas em construções sustentáveis no Brasil”, gerado pela Secretaria do Estado de Ambiente do Rio de Janeiro (SECRETARIA, 2010) é apresentado como “subsídios à implementação de gestão e insumos para construção e compras públicas sustentáveis no Estado do Rio de Janeiro”. Neste documento são apresentadas as orientações teóricas e o levantamento das melhores práticas em construções sustentáveis, e visa à prestação de serviços para obras públicas. O tema é tratado em três aspectos: “elementos e sistemas”, “ferramentas” e “ambiente construído”.

Elementos e sistemas são apresentados a partir das questões de energia, água, saneamento, materiais e resíduos. Ferramentas são políticas públicas e instrumentos legais, compras públicas sustentáveis, análise de ciclo de vida, rotulagem e certificação e capacitação. Quanto a planejamento urbano e mobilidade sustentável, habitação de interesse social, infraestrutura verde e operação e manutenção de prédios públicos, são tratados no item ambiente construído.

Vale ressaltar que esse é um documento que serve de subsídio para obras públicas no estado do Rio de Janeiro com vistas à minimização dos impactos ambientais.

2.3.7 O pensamento de Ciclo de Vida nos sistemas certificadores

Apesar das dificuldades em aplicar a ACV na construção civil, o conceito de avaliação de impacto de berço a túmulo, ou seja, desde a concepção do edifício até sua demolição e destinação de resíduos, está presente nas iniciativas de certificação e recomendações para a sustentabilidade ambiental dos edifícios, tais como apresentados na TAB. 2.4. Vários desses itens são referentes à seleção por materiais ambientalmente preferíveis (já

citados anteriormente), mas, de alguma forma, se encontram em uma das etapas do ciclo de vida, enquadrando-se no denominado “pensamento do ciclo de vida”.

TABELA 2.4 – Matriz de atuação das certificações ambientais por etapa do ciclo de vida.

	Produção	Transporte	Obra	Uso/ Manutenção	Destino final
AQUA	X	X	X	X	X
LEED	X		X	X	X
BREEAM	X	X	X	X	X
Casa Azul – CAIXA	X		X	X	X

2.4 Seleção de materiais de construção a partir da sustentabilidade ambiental

De acordo com JOHN e OLIVEIRA (2007), o simples julgamento da sustentabilidade de produtos deve ser evitado devido à complexidade de itens e critérios a serem seguidos. Normalmente, o que ocorre na fase de desenvolvimento do produto é o *trade-off*, ou seja, quando se privilegia algumas características que são preferíveis em detrimento a outras.

Além da adequada seleção dos materiais, deve ser levado em consideração o correto detalhamento do projeto, o que resultará em impactos menores e maior benefício social. Ferramentas de seleção são importantes e devem ser desenvolvidas sob os seguintes parâmetros:

- Gestão do processo de desenvolvimento do produto;
- Avaliação ambiental com base na abordagem do ciclo de vida;
- Avaliação de custos nos ciclos de vida dos produtos;
- Critérios de avaliação de adequação social.

Para avaliar sistemas construtivos quanto à sua sustentabilidade ambiental é importante conhecer os procedimentos de avaliação existentes e suas origens. De acordo com JOHN e OLIVEIRA (2007), a avaliação da sustentabilidade de materiais deve evitar conceitos como “bons” ou “ruins”, de forma que as avaliações sirvam de parâmetros para utilização, e não como exclusão, pois estes conceitos são vagos e subjetivos.

Um conceito utilizado atualmente é o de materiais preferenciais: alguns materiais possuem “bônus”, com relação a outros, que se baseiam em critérios, como estoques de materiais, seja em escala local ou regional; impacto deixado na extração de recursos; desmaterialização, ou seja, redução, reutilização e reciclagem; além do uso de materiais locais e materiais renováveis. Como outros critérios de seleção, o conceito de materiais preferenciais pode gerar equívocos, como valorizar materiais reciclados e desconsiderar a durabilidade ou impactos com o transporte. Nem sempre a utilização de material reciclado é uma vantagem, pois o processo de reciclagem pode emitir mais poluentes, consumir ainda mais energia e reduzir a qualidade do material a cada ciclo (*downcycling*). Além disso, o descarte desse material pode ser mais danoso que o material de origem.

No que tange a materiais preferenciais, deve-se levar em consideração a norma ABNT NBR ISO 14020:2002, que trata da Declaração Ambiental de Produtos e Rotulagem Ambiental. Nela, as características ambientais do produto, ou o seu desempenho, são declaradas por órgãos certificadores (terceira parte), consultorias especialmente contratadas (segunda parte) e pelo próprio fabricante (primeira parte), o que pode valer como parâmetro para seleção de materiais preferenciais. Seus resultados são úteis também para a Avaliação de Ciclo de Vida.

Um dos primeiros critérios criados de avaliação da sustentabilidade de materiais foi o da energia incorporada, que indica a “contabilidade energética” do material desde a extração da matéria prima até o descarte final, em MJ/kg. O inconveniente dessa avaliação é que ela restringe o critério energético em detrimento de outros e não considera as diferentes fontes energéticas de cada país. Trata-se de uma das formas de avaliação dos materiais através do gasto energético para fabricação. Entretanto, foi o método mais utilizado antes da ACV (JOHN, 2007).

Assim como o critério da energia incorporada, outros quesitos servem de critério na seleção de materiais como água incorporada (“pegada hídrica”), potencial de aquecimento global – através da emissão de CO₂ equivalente (“pegada de carbono”) –, contaminação de lençóis freáticos na fabricação, esgotamento de matéria-prima, potencial de reciclagem, toxicidade (MATEUS, 2004). Esses critérios se baseiam na produção dos materiais e dão subsídios para definir alguns materiais preferenciais, muito comumente utilizados nos certificadores ambientais de edificações. O conjunto desses critérios e sua interpretação em forma de impacto ambiental é parte da ACV.

O método da energia incorporada foi sendo substituído pela ACV, ou seja, pela avaliação dos *inputs* e *outputs* ambientais nas etapas de vida útil de um material, feitas através de um inventário do que se utiliza para produção, uso e descarte de um material, e do que se tem como efluentes emissões e resíduos sólidos nessas mesmas etapas. Esse conceito é utilizado na construção civil como uma ferramenta de comparação e seleção de materiais (ACV), e é, atualmente, o método mais consistente.

A identificação das questões ambientais a serem levantadas na seleção de materiais envolve decisões subjetivas, a partir de dispositivos legais, de preocupações levantadas voluntariamente pela sociedade e por agentes de tomada de decisão, ou de critérios presentes em sistemas de avaliação e seleção de materiais. Além dos aspectos ambientais, deve-se ter ciência da necessidade de estabelecer parâmetros sociais e econômicos na seleção de materiais sustentáveis. Até então, os parâmetros econômicos e estéticos têm prevalecido. Quanto aos critérios sociais, um fato que dificulta a seleção de materiais é a ausência de informação sobre o grau de responsabilidade ambiental e

social dos fornecedores de materiais. Apesar disso, algumas iniciativas para criar parâmetros sociais de seleção já existem, como a ferramenta *6 passos*, criada pelo Conselho Brasileiro da Construção Sustentável (CBCS, 2010).

A seguir, serão esclarecidos os conceitos de energia incorporada, materiais preferenciais e ACV.

2.4.1 Energia incorporada

A energia incorporada, conforme já dito anteriormente, é o inventário energético do material ao longo de sua vida útil (MATEUS, 2004). A energia incorporada primária (PEC) é o levantamento da energia consumida na sua fase de produção. O inventário é dado em unidade energética por unidade de massa ou por unidade de volume (m³), conforme a TAB. 2.5.

TABELA 2.5 – Energia Incorporada (EI) de alguns materiais da construção civil.

Fonte: Adaptado de TAVARES, 2006.

MATERIAIS	EI (MJ/kg)	EI (MJ/m ³)
Aço – laminado CA 50	31,00	243350,00
Alumínio lingote	150,00	405000,00
Alumínio anodizado	227,00	405000,00
Alumínio reciclado – extrudado	17,30	405000,00
Areia	0,05	80,00
Argamassa – mistura	2,10	3570,00
Borracha natural – látex	69,00	63480,00
Borracha sintética	135,00	160650,00
Brita	0,15	247,50
Cal virgem	3,00	4500,00

Cerâmica – bloco de 8 furos	3,10	4340,00
Cerâmica – branca	25,00	52075,00
Cerâmica – revest, monoqueima	5,02	10456,66
Cerâmica porcelanato	13,00	27300,00
Cerâmica - telha	5,40	10260,00
Cimento Portland	5,20	10140,00
Cobre	75,00	669975,00
Concreto – bloco de vedação	1,00	2300,00
Concreto simples	1,20	2760,00
Fibra de vidro	24,00	768,00
Fibrocimento - telha	6,00	9600,00
Fio termoplástico	72,00	438074,00
Gesso	4,00	5720,00
Granito	2,00	5400,00
Lã mineral	19,00	2090,00
Latão	80,00	682400,00
Madeira – aparelhada seca forno	4,50	2700,00
Madeira – aparelhada seca ar livre	0,50	300,00
Madeira – laminada colada	7,50	4875,00
Madeira – MDF	9,00	5850,00
Mármore	1,00	2550,00
Placa de gesso	4,50	4500,00
Poliamida – nylon	125,00	143750,00
Poliestireno expandido	112,00	4480,00
Polietileno de alta densidade	95,00	90250,00
Polipropileno	83,80	92180,00
Poliuretano	74,00	44400,00
Solo-cimento – bloco	0,60	1020,00
Solvente – tolueno	67,90	74690,00
Telha de vidro	23,13	55512,00
Tinta acrílica	61,00	79300,00
Tinta óleo	98,10	127530,00
Tinta PVA latex	65,00	84500,00
Tubo – PVC	80,00	104000,00

Vermiculita	1,37	167,14
Vidro plano	18,50	46250,00

O resultado desse inventário pode gerar resultados de materiais “bons” ou “maus”, o que não é correto, pois um mesmo material de diferentes fornecedores pode ter resultados díspares. Os blocos cerâmicos de diferentes fabricantes no Rio Grande do Sul, por exemplo, podem variar de 0,85MJ/kg a 4,85MJ/kg (GRIGOLLETTI, 2001). Além disso, o uso desse único critério não compreende a fonte energética utilizada. Um material com energia incorporada alta, baseada em combustível fóssil, não possui o mesmo impacto que outro material com mesma energia incorporada baseada em energia hidroelétrica, por exemplo. Esse critério é proveniente de países onde a matriz energética é predominantemente fóssil, o que realmente poderia refletir o impacto de geração de CO₂ para os materiais. No caso do Brasil, a matriz energética possui uma grande diversidade (FIG. 2.9), e o resultado da energia incorporada não reflete claramente o impacto dos materiais (JOHN, OLIVEIRA, 2007).

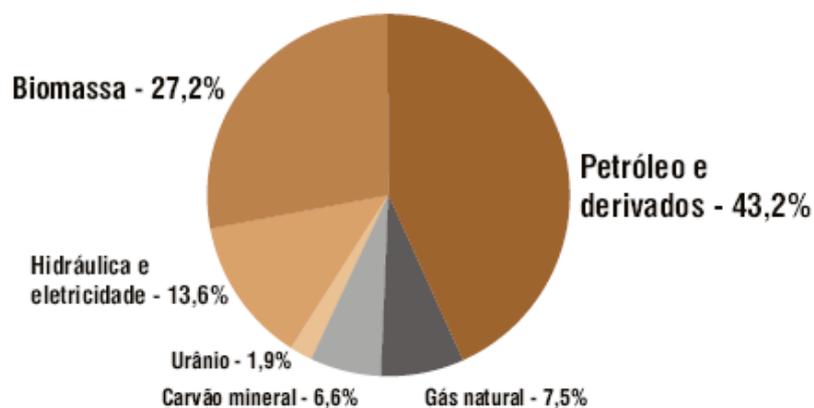


FIGURA 2.9- Oferta de energia no Brasil em 2002.

Fonte: JOHN e OLIVEIRA, 2007.

O resultado da energia incorporada é dado em unidade de energia por unidade de massa. Esse resultado não representa o material em uso, pois materiais diferentes para um mesmo uso podem ter um menor gasto de massa, como é o caso da telha. Ao comparamos telha cerâmica com fibrocimento, percebemos que a energia incorporada desta é maior do que a daquela. Em uma primeira análise, a telha cerâmica seria o

melhor material, entretanto, a telha de fibrocimento cobre uma mesma área utilizando menos material. Portanto, ao relacionar o consumo do material por energia gasta, a telha de fibrocimento apresenta menor impacto ambiental (TAB. 2.6). (JOHN, OLIVEIRA, 2007). Este conceito será apresentado com maiores detalhes dentro do contexto de Avaliação de Ciclo de Vida como unidade funcional, ou seja, a delimitação de parâmetros de comparação em função de desempenhos compatíveis.

TABELA 2.6 – Energia incorporada (EI) por massa e por área das telhas cerâmicas e fibrocimento.

Telha	EI (MJ/kg)	kg/m ₂	MJ/m ₂
Cerâmica	3,30	50,0	165,0
Fibrocimento	3,55	8,5	30,2

Fonte: Adaptado de: JOHN e OLIVEIRA, 2007.

Outro problema é que a verdadeira energia incorporada depende, fundamentalmente, de decisões de projeto. No caso do concreto, por exemplo, a quantidade de cimento está relacionada à resistência e à variabilidade do processo de produção. O mesmo ocorre com o aço. Por outro lado, este critério incentiva a desmaterialização, ou seja, a utilização da menor quantidade de material para um mesmo uso, já que os valores de energia incorporada são dados em energia gasta por unidade de massa.

Além disso, o gasto energético não é o único parâmetro de impacto ambiental a ser considerado. Assim como foi dito anteriormente, devem-se observar outras questões, como a toxicidade, consumo de água para a fabricação (água incorporada ou pegada hídrica), pegada de carbono (CO₂ eq.), contaminação de lençóis freáticos na fabricação, esgotamento de matéria-prima, potencial de reciclagem, etc. Materiais com menores impactos em um ou mais desses quesitos compõem listas de Materiais Ambientalmente Preferíveis. A contabilidade de todos esses quesitos ao longo da vida de um material, considerando o descarte do mesmo e a relação desses com impactos ambientais globais, constituem a Avaliação de Ciclo de Vida.

2.4.2 Materiais ambientalmente preferíveis

A seleção por materiais ambientalmente preferíveis é a conceituação de que alguns materiais possuem bônus ambientais em relação a outros, em função de alguma característica que confere a eles menor impacto. Para atribuir preferências a certos materiais, é recomendável que sejam criados quesitos a serem avaliados. JOHN e OLIVEIRA (2007) propõem como critérios de avaliação:

- O uso de recursos naturais: análise do estoque do material disponível. Não é por si só um dado confiável, pois desconsideram-se os materiais provenientes de processo de reciclagem;
- O impacto na extração dos recursos: este é um critério qualitativo quanto ao uso dos recursos naturais, pois avalia-se qual o “rastros” deixado na extração do recurso e não somente a quantidade retirada. Destaca-se o impacto deixado no abandono de uma jazida de mineração;
- A desmaterialização: redução dos fluxos de entrada e saída de material. É considerada, portanto, estratégia que pode acontecer pelo aumento da eficiência do uso do material de construção no sistema construtivo, pelo reaproveitamento de materiais, pela reciclagem, pelo compartilhamento por parte dos consumidores e, ainda, pela substituição de materiais;
- O uso de materiais locais, pois permite a redução do consumo de combustíveis no transporte e, conseqüentemente, as emissões de poluentes;
- O uso de materiais renováveis, com destaque para a madeira, a qual deve ser considerada com ressalvas. Ela apresenta vantagens na retenção de CO₂, pois possui um potencial de reciclagem e de renovação das florestas. A retenção de CO₂ só ocorre onde há reflorestamento da origem da madeira. Sua reciclabilidade pode ser impossibilitada por conta dos materiais utilizados para seu tratamento. Um desses materiais, o “Chromated Copper Arsenate” (CCA) é constituído de cobre, arsênio (que oferece riscos à saúde humana) e cromo, um metal pesado;
- A análise do conteúdo energético, onde são utilizados dados de energia incorporada. A importância destes dados, como já foi dito, depende da fonte

energética do país e da quantidade de material utilizado;

- O conteúdo de material reaproveitado e o potencial de reaproveitamento;
- As emissões e os resíduos ao longo do ciclo de vida do material;
- A presença de substâncias tóxicas que possam ser liberadas no ambiente, como materiais existentes em tintas, carpetes, papéis de parede e substâncias de tratamento de madeira;
- A qualidade do ambiente interno, o que pode alterar a saúde dos usuários provocando a chamada “Síndrome do Edifício Doente”.

De uma maneira geral, os sistemas de certificação de sustentabilidade utilizam o critério de materiais ambientalmente preferíveis para pontuar a seleção dos materiais no edifício. Os sistemas utilizados atualmente no Brasil são o BREEAM, o LEED, o AQUA e o Selo Casa Azul, conforme definições na introdução deste trabalho.

O BREEAM considera aspectos da extração responsável dos materiais, o que bonifica a reutilização e a reciclagem; materiais de isolamento térmico e acústico de baixa toxicidade; a utilização de produtos com baixa emissão de COV; o uso de madeiras certificadas para construção; e trata também da gestão de resíduos de construção. Para serem atendidos nestes quesitos, os materiais devem possuir certificações de órgãos reconhecidos da Grã-Bretanha.

O LEED aborda quesitos como materiais e recursos, onde o reuso é estimulado, com uma pontuação para aplicação de 5 a 10% de materiais reutilizados. A incorporação de materiais reciclados também é um critério, bem como o uso de materiais locais (considerando-se uma distância de até 300 km), de materiais de rápida renovação e de madeira certificada. No grupo qualidade ambiental de interiores, considera-se a baixa emissão de Compostos Orgânicos Voláteis (COV), substâncias que, ao reagirem com o nitrogênio do ar, contribuem para o aumento da poluição atmosférica e afetam a saúde humana. Esses compostos estão presentes em materiais estofados. É importante ressaltar que este é um critério utilizado também no Brasil, através da certificação LEED Brasil.

Alguns critérios existentes no LEED se relacionam diretamente com o conceito de

desmaterialização, tais como: estrutura eficiente com destinação final dos resíduos, existência de detalhamento construtivo, lista de cortes detalhadas e pré-fabricação.

No HQE, e na sua versão brasileira AQUA, existem recomendações para a escolha integrada de produtos, sistemas e processos de construção a partir dos seguintes critérios:

- Avaliação da contribuição do produto na durabilidade e na adaptabilidade do edifício;
- Avaliação da facilidade de manutenção;
- Avaliação dos impactos ambientais e sanitário-ambientais;
- Redução da emissão de gases de efeito estufa;
- Redução dos resíduos no ambiente;
- Aumento do aproveitamento por reuso e reciclagem;
- Aumento do uso de recursos renováveis;
- Escolhas que evitem o esgotamento de recursos naturais;
- Produtos disponíveis localmente (cimento CPIII e CPIV);
- Produtos fabricados a pelo menos 300 km da obra (considerando no mínimo 30% do total de produtos);
- Uso de produtos, sistema e processos construtivos que permitam a desconstrução. Mínimo de 50% dos elementos para estrutura e fachada;
- Formalidade fiscal e trabalhista do fornecedor;
- Produtos que neutralizem CO₂;
- Produtos certificados pela Rotulagem Ambiental (família ISO 14020);
- Seleção de fabricantes cujos produtos possuam menor consumo energético e esgotamento dos recursos naturais;
- Minimização dos efeitos negativos do transporte;
- Materiais renováveis, madeiras certificadas com baixa emissão de COVs; chapas compensadas com baixas taxas de emissão de formaldeído;
- Durabilidade do edifício em função das vidas úteis dos produtos da obra bruta (estruturas e fachadas);

- Produtos de fácil conservação, em especial fachadas, telhados, revestimentos internos, janelas, esquadrias, vidraças, proteções solares, divisórias interiores e forros;
- Não utilizar amianto; tintas e adesivos com alto conteúdo de compostos orgânicos voláteis (COVs);
- Conhecer e evitar emissões de COVs, formaldeídos dos produtos de piso, parede e teto.

Quanto ao Selo Casa Azul, este aborda o conceito de desmaterialização ao apostar na coordenação modular para reduzir as perdas de materiais, aumentando a produtividade e reduzindo o volume de Resíduos de Demolição e Construção (RDC). Dessa forma, exige-se a seleção de fornecedores que apresentem produtos adequados ao projeto e especificação das tolerâncias dimensionais. Além disso, pontua-se:

- Fôrmas e escoras reutilizáveis;
- Concretos com dosagem otimizada;
- Cimento de alto forno (CP III) e pozolânico (CP IV);
- Pavimentação com RDC; utilizados como agregados reciclados;
- Madeira plantada ou certificada;
- Facilidade de manutenção da fachada com durabilidade mínima de 15 anos.

O Selo Casa Azul, no que diz respeito aos materiais, apresenta indicações de soluções padrão, sem considerar as diferentes possibilidades de sistemas construtivos existentes. Isso ocorre ao definir as características do concreto a ser utilizado e o tipo de cimento, o que pode levar a uma dedução de que somente soluções com esses materiais serão valorizadas. Como qualidade, verifica-se uma preocupação com critérios de desmaterialização e geração de resíduos nos canteiros de obra. O incentivo ao uso de sistemas industrializados é um indicativo disso. Os critérios apresentados por este selo se restringem ao impacto no canteiro de obras, onde requisitos de qualidade garantem a durabilidade, que irá impactar no fim da vida do edifício e seu sistema.

O Guia produzido pelo SINDUSCON-MG apresenta sugestões para sistemas

construtivos a partir dos aspectos de custos, durabilidade, qualidade e proximidade dos fornecedores, quantidade e periculosidade dos resíduos gerados e modularidade. Este guia vai de encontro ao Selo Casa Azul e ao AQUA ao utilizar os PSQs do PBQP-H como garantia de qualidade do produto e ao abordar a questão da modularidade como estratégia de desmaterialização.

O documento intitulado “Teoria e práticas em construções sustentáveis no Brasil”, gerado pela Secretaria do Estado de Ambiente do Rio de Janeiro, recomenda:

1. Usar materiais locais em obras públicas;
2. Utilizar cores claras para reduzir o efeito de “ilhas de calor” na pavimentação de ruas e áreas públicas, e de cobertura dos edifícios, com obrigatoriedade para os públicos;
3. Eliminar a utilização de tijolo cozido e reduzir a utilização do cimento;
4. Reutilizar o vidro antes de reciclá-lo e reaproveitar telhas cerâmicas;
5. Utilizar madeira certificada.

Além dessas iniciativas, a ferramenta denominada “Seis Passos” do Conselho Brasileiro da Construção Sustentável (CBCS) auxilia na seleção de fornecedores. Nela são listados quesitos a serem atendidos pelos fabricantes e pelos seus materiais. Esta seleção é baseada nas seguintes informações:

- Verificação da formalidade da empresa fornecedora (CNPJ);
- Verificação da licença ambiental da unidade fabril;
- Respeito às normas técnicas que garantem a qualidade do produto;
- Consulta do perfil de responsabilidade socioambiental da empresa;
- Identificação da existência de verniz verde (‘greenwash’) ou seja, fabrica-se um produto eco-eficiente e usa-se deste título para vendê-lo mais caro;
- Análise da durabilidade e do ciclo de vida do material.

Materiais considerados ambientalmente amigáveis não implicam, necessariamente, em um uso sustentável. Um material para janelas, por exemplo, pode ser sustentável, mas

seu uso impede a iluminação natural, o que o torna insustentável (EDWARDS e BENNETT, 2003).

2.4.3 Avaliação de Ciclo de Vida

A ACV é uma das técnicas de avaliação ambiental criadas para produtos e serviços. É uma avaliação de impactos ambientais ocorridos ao longo de toda a vida do material, desde a extração da matéria-prima até o uso e descarte, considerando também seu desempenho ambiental ao ser descartado ou ao ser reutilizado. EDWARDS e BENNETT (2003) destacam o conceito de design para a desconstrução ou design para adaptabilidade embutidos na ACV, isto é, antes de se avaliar o ciclo de vida do sistema, deve-se projetá-lo para ser desconstruído e adaptado. Este procedimento garante a durabilidade dos componentes como partes de um novo sistema.

Segundo SONNEMANN, CASTELLS e SCHUHMACHER (2003), a ACV teve origem na análise de embalagens de refrigerantes da Coca Cola na década de 60, com o objetivo de identificar as que produziriam um menor impacto ambiental. Em 1974, o *Midwest Research Institute* (MRI), executor das análises das embalagens da Coca Cola, aprimorou este trabalho e se tornou a primeira referência em ACV. Na Europa, desde 1985, utiliza-se o procedimento denominado Ecobalance, que é referência na área alimentar. Trata-se de uma importante ferramenta oriunda da Ecologia Industrial, ciência que estuda a interação entre a sociedade e o meio ambiente, através do conceito de prevenção de poluição e de produção mais limpa. Ela adota o princípio de fechamento do ciclo de vida dos materiais, redução de poluentes e aproveitamento de resíduos em outras unidades (COSTA, 2002). O objetivo é identificar e melhorar processos que causam poluição, geração de resíduos, etc.

Em 1991, o Ministério do Meio Ambiente da Suíça contratou um trabalho que se tornaria o primeiro software em ACV, o Okobas I, que posteriormente daria origem ao banco de dados Ecoinvent (TAVARES, 2006). Paralelamente, a Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental (SETAC, 1991) desenvolvia a metodologia de

avaliação de ciclo de vida na Europa. Em 2002, McDonough e Braungart (MCDONOUGH e BRAUNGART, 2002) lançaram a abordagem *cradle to cradle* (berço a berço), onde os materiais têm múltiplos ciclos de vida e são projetados para que o descarte final seja o “nutriente” de um novo ciclo. Este processo é denominado por esses autores como rematerialização.

Atualmente, a ACV faz parte do escopo de trabalho do Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP), que juntamente com o SETAC, trabalha com a Iniciativa de Ciclo de Vida (*Life-Cycle Initiative*). A fim de padronizar o tipo de informações e possibilitar seu compartilhamento, a União Europeia possui um projeto de harmonização: a Plataforma Internacional do Ciclo de Vida, na qual o Brasil tem participação (CARVALHO, 2010). A iniciativa em ACV no Brasil é impulsionada pelas exportações. A União Europeia encontra-se em um estágio amadurecido no assunto, apresentando exigências compatíveis com relação aos produtos a serem importados por eles. Dessa forma, seu desenvolvimento no Brasil é mais forte em produtos passíveis de exportação, como siderurgia, produtos em madeira, biocombustíveis (CALDEIRA PIRES, 2010).

De acordo com o Boletim Inovação da Unicamp (IMPACTO, 2005), a ACV passou a ser discutida no Brasil em 1993, dentro de um subcomitê do recém criado Grupo de Apoio à Normalização Ambiental (GANNA), ligado ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). Em 1998, foi lançado o livro “Análise do Ciclo de Vida de Produtos”, onde a norma ABNT NBR ISO 14000:2004 é relacionada ao ciclo de vida de materiais de uso imediato (RIBAMAR, 1998). Já em 1999, o Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental foi estruturado e vinculado à ABNT, o que gerou a versão brasileira da ABNT NBR 14040: 2009, revisada em 2009. No início do ano 2000, o MCT implementou um programa de gestão do ciclo de vida e desenvolveu inventários de gases de efeito estufa. Em 2002, foi criada a Associação Brasileira de Ciclo de Vida, ABCV. Em 2006, o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICIT/MCT) apresentou o projeto “Inventário do Ciclo de Vida como competitividade na Indústria Brasileira” (Sistema de Inventários de Ciclo de Vida - SICV Brasil). Em 2008, foram realizados acordos de cooperação entre o IBICIT/MCT

com a *Life Cycle Initiative* da UNEP e com a Plataforma Internacional do Ciclo de Vida. Essa plataforma visa harmonizar os dados internacionalmente, facilitando a intercambialidade e a comparação de dados entre países. De 2008 a 2010, o IBICT/MCT desenvolveu uma infraestrutura de informação para disseminação do “Pensamento do Ciclo de Vida”. Em dezembro de 2010, o Conselho Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO) publicou a aprovação do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida, decorrente das discussões do SICV Brasil.

Dentre os parceiros do SICV Brasil, estão incluídas as universidades, os órgãos federais e internacionais, tais como: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC); Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Ibict); Instituto Nacional de Tecnologia (INT); Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro); Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT); Petrobrás; Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT); Confederação Nacional das Indústrias (CNI); Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai); Instituto Euvaldo Lodi (IEL); Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae); Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica (ABIPTI); Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV); Universidade de Brasília (UnB); Universidade de São Paulo (USP); Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (CEFET-PR); Instituto de Tecnologia do Paraná; e PE International (Universidade de Stuttgart).

2.4.3.1 Normatização e conceitos em ACV

O conjunto de normas que trata da Avaliação de Ciclo de Vida é a série ABNT NBR ISO 14000, que são normas de gestão ambiental. Para o presente trabalho, são importantes as normas ABNT NBR ISO 14020, ABNT NBR ISO 14021, ABNT NBR ISO 14024 e ABNT NBR ISO 14025, que tratam de rotulagem ambiental, e a série ABNT ISO 14040: 2009, que trata de procedimentos e técnicas em ACV.

As normas de rotulagem ambiental objetiva orientar os Selos Verdes, tendo a ABNT NBR ISO 14020:2002 como a norma que contém conceitos básicos, definições e alusão a possibilidade de realização e utilização de ACV nos trabalhos de rotulagem. É um mecanismo de comunicação com o mercado diferenciado do produto de seus concorrentes (BARRETO, 2007).

A ABNT NBR ISO 14021:2004 é a Rotulagem Ambiental Tipo II, que contém auto-declarações que permitem a descrição de apenas um aspecto ambiental do produto sem a obrigação de uma ACV. Os aspectos de possível abordagem na auto-declaração são: compostável, degradável, projetado para o desmonte, vida útil do produto prolongada, energia recuperável, reciclável, conteúdo reciclado, consumo de energia reduzido, uso reduzido de água, reutilizável e recarregável e redução de resíduos.

A ABNT NBR ISO 14024: 2004 – Rotulagem Ambiental Tipo I, é uma declaração de terceira parte, executada por um órgão ou pessoa independente das partes envolvidas. A análise deve ser feita considerando os diferentes estágios de ciclo de vida, definição de critérios ambientais de avaliação do produto e seus valores limites.

Por fim, a ABNT NBR ISO 14025:2006 é a Rotulagem Ambiental Tipo III, que utiliza da ACV para certificar procedimentos do ciclo de vida do produto, fazendo referência à série ABNT NBR ISO 14040. A partir de sua aprovação no Brasil em 2006, essa norma pode ser exigida na exportação de produtos, sem que seja considerada barreira técnica. (METODOLOGIA, 2009).

De acordo com a ABNT NBR ISO 14040: 2009, a ACV é uma técnica de avaliação ambiental de materiais (produtos) e processos (serviços) que indica impactos potenciais. Entende-se por ciclo de vida os estágios sucessivos e encadeados de um produto. A cada estágio contabilizam-se as entradas e saídas de materiais, energia, produtos, emissões para atmosfera, para a água e para o solo (*inputs e outputs*). A FIG. 2.10 esquematiza a avaliação feita em cada etapa do ciclo de vida e especifica os *inputs e outputs* avaliados.

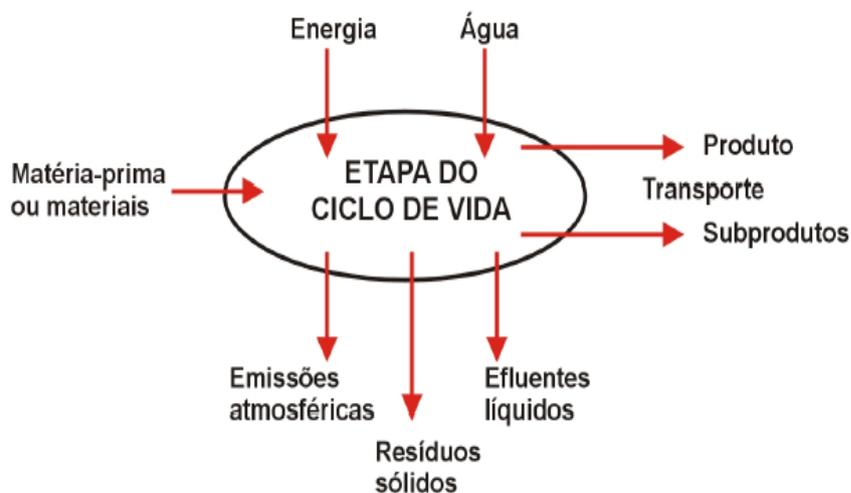


FIGURA 2.10 – Avaliação em cada etapa da ACV.

Fonte: Adaptado de: LIMA, 2006.

Executar uma ACV significa identificar e avaliar todos os impactos ambientais ao longo da vida útil do produto. Ao se realizar esta operação, o produto é desmembrado, e então faz-se a ACV dos componente ao longo de sua vida. Cada componente possui um ciclo de produção que passa pelo uso e vai até o descarte do material. A série ABNT NBR ISO 14040:2009 recomenda que sejam considerados os seguintes estágios do ciclo de vida:

1. Extração de matéria-prima;
2. Transporte até a fábrica;
3. Transformação da matéria-prima;
4. Transporte ao centro de consumo;
5. Utilização do componente;
6. Manutenção;
7. Reuso/ reciclagem/ descarte.

A ACV é uma técnica para avaliar os impactos ambientais de um produto mediante a compilação de um inventário, a avaliação de impactos ambientais e a interpretação de resultados. São, portanto, quatro etapas:

- 1) Definição do escopo e delimitação;
- 2) Levantamento de dados, denominado Inventário do Ciclo de Vida (ICV);
- 3) Avaliação do Impacto do Ciclo de vida (AICV), onde os dados levantados no ICV serão relacionados às categorias de impacto definidas previamente;
- 4) Interpretação dos dados.

Estas etapas são definidas pela ABNT NBR ISO 14040:2009 e detalhadas pelas ABNT NBR ISO 14044: 2009. As fases de uma ACV estão esquematizadas na FIG. 2.11 e descritas a seguir.

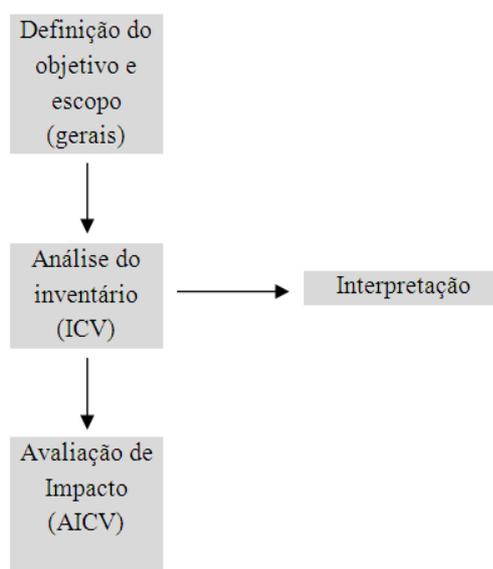


FIGURA 2.11 – Estrutura e aplicação da ACV.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR ISO 14044.

Uma das etapas mais importantes de ACV é a definição do escopo, que serve para especificar quais unidades de processo serão avaliadas e qual será a unidade funcional. A definição de unidade funcional é fundamental para a validação da ACV. Isso significa especificar qual o material a ser estudado em função de seus usos, limites geográficos, limites temporais, o que define qual amostra desse material será avaliada. Somente dessa forma é possível comparar materiais e sistemas que são realmente substituíveis entre si. Assim, de acordo com a ABNT NBR ISO 14040: 2009, é necessário explicitar os propósitos, parâmetros, limites e fronteiras do estudo. Esses limites podem ser

geográficos, temporais, técnicos e naturais. E essa etapa define o ciclo de vida a ser avaliado e detalha o processo de fabricação, uso e operação e descarte do material. A definição deste escopo é fundamental para alcançar um resultado confiável.

LAVAGNA (2006) ressalta a importância de se definir a unidade funcional, relacionando-a aos desempenhos dos materiais, sejam estes térmicos, acústicos ou até de durabilidade. Como exemplo, a autora apresenta a situação de um banheiro de hotel que, por motivos de mercado, deve ser reformado a cada 25 anos. Ressalta ainda que a especificação de um material que tenha durabilidade de 50 anos pode não ser interessante, caso este material tenha maior impacto no seu ciclo de vida que outro de durabilidade de 25 anos.

A ABNT NBR ISO 14044: 2009 relaciona os procedimentos a serem seguidos na definição do escopo:

1. Preparação para a coleta dos dados;
2. Coleta de dados;
3. Validação dos dados;
4. Relação dos dados às medidas do processo;
5. Relação dos dados à unidade funcional;
6. Procedimentos de cálculo;
7. Procedimentos de alocação;
8. Agregação dos dados;
9. Refinamento dos limites do sistema.

A FIG. 2.12 é um exemplo de um resultado da definição do escopo para avaliação de pisos cerâmicos na etapa de produção do material (SOARES e SOUZA, 2006).

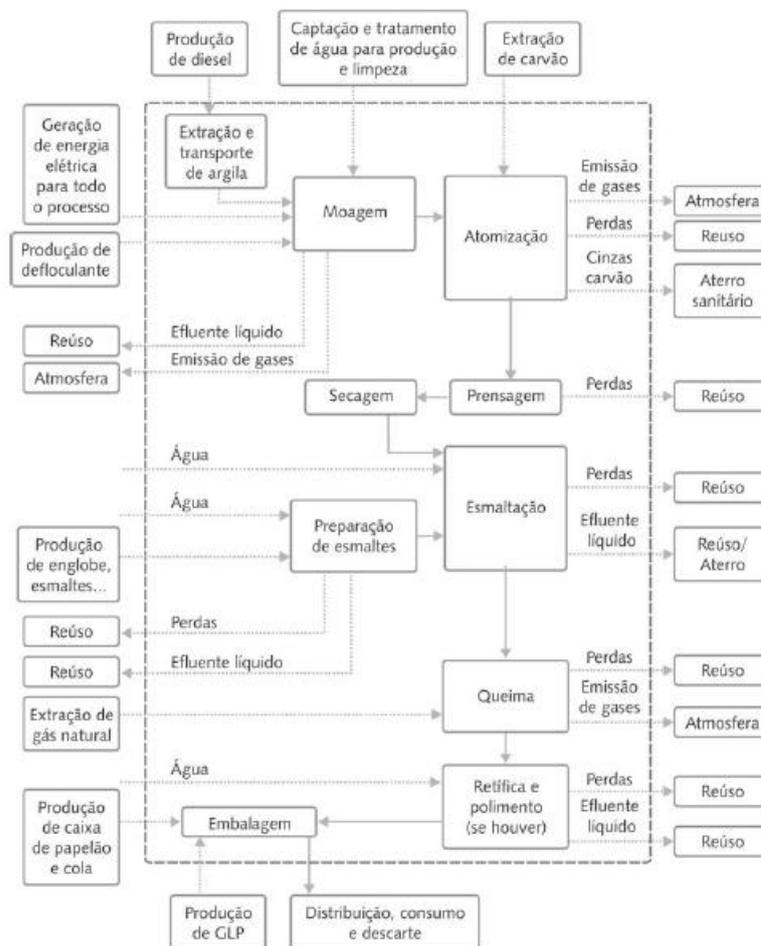


FIGURA 2.12 – Fluxograma de produção de 1m² de piso cerâmico.

Fonte: SOARES, 2004, apud SOARES, 2006.

O retângulo tracejado define os limites do sistema – neste caso, o processo de fabricação – a ser analisado, enquanto os termos acima das setas indicam o envolvimento de entradas e saídas de energia, água, resíduos sólidos e efluentes. Cada processo é descrito em paralelo ao fluxograma.

O Inventário do Ciclo de Vida (ICV) é a construção de um fluxograma que representa o ciclo de vida do material e onde são contabilizadas entradas e saídas de matérias-primas, energia, água, resíduos e emissões. Os objetivos do inventário são: criar uma base de informações ampla, identificar pontos de melhoria dentro do sistema, comparar entradas e saídas de produtos alternativos e servir de guia no desenvolvimento de novos

produtos (METODOLOGIA 2009). O escopo pode ser redefinido se for necessário para garantir a confiabilidade da avaliação. Diferente da etapa anterior, no inventário é necessário quantificar todas as entradas e saídas e apresentar esses valores no fluxograma, conforme representado na FIG. 2.13.

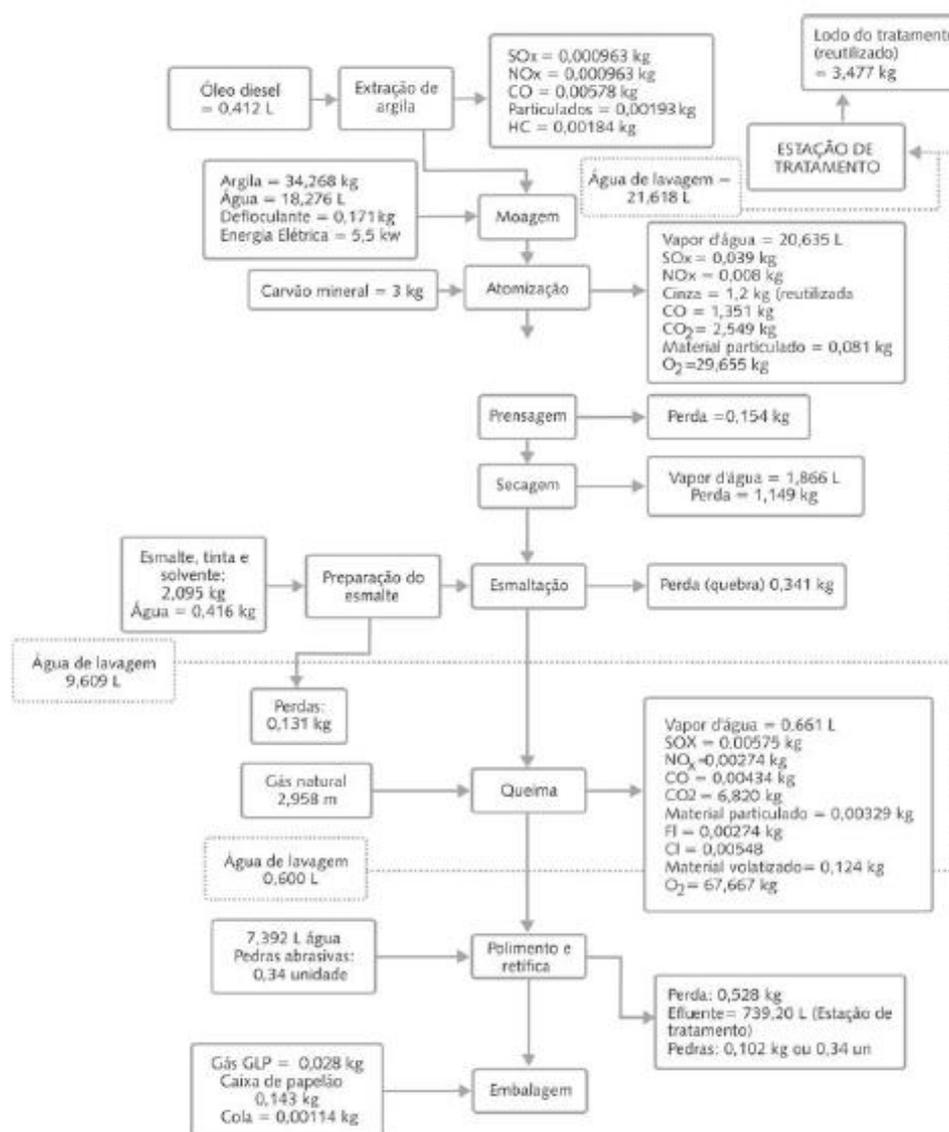


FIGURA 2.13 – Inventário de Ciclo de Vida de 1m² de piso cerâmico.

Fonte: SOARES, 2004, apud SOARES, 2006.

Para a realização de um inventário é preciso obter dados confiáveis. Existem diversos bancos de dados de Inventários de Ciclo de Vida (ICV) em todo o mundo, a maioria focada em produtos de uso imediato. A diferença é que nestes, as atividades de

transformação, manutenção, uso e operação acontecem em período relativamente curto, enquanto na construção civil levam anos. O método exige, portanto, uma coleta por partes e uma análise de cada etapa construtiva, assim como o desmembramento do produto em componentes.

Além disso, os bancos de dados relacionam materiais produzidos em países com processo de produção diverso ao brasileiro, tornando a avaliação não confiável. JOHN (2007) ressalta a possibilidade de essas análises gerarem erros tomando como exemplo a emissão de CO₂ na produção de Cimento Portland. A FIG. 2.14 mostra a discrepância destas emissões em diferentes países:

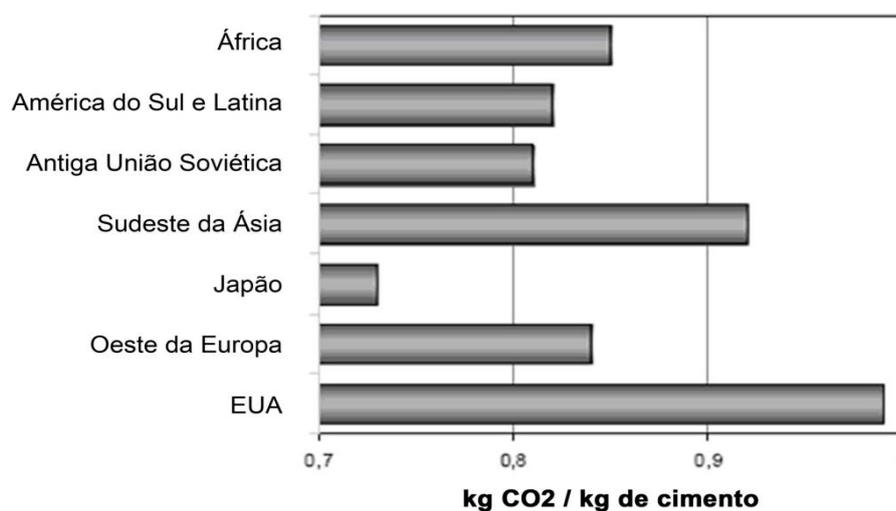


FIGURA 2.14 – Emissões médias (CO₂) em diferentes regiões para produção de 1kg de cimento Portland.

Fonte: JOHN (2003).

Existem bancos de dados para materiais de construção com dados específicos de cada país. A utilização destes bancos de dados para o Brasil pode acarretar em erros grosseiros, pois os processos de fabricação são distintos. As diferenças existem em termos das tecnologias, geologia, clima, densidade de população, biomas, tipos de produtos, transportes, etc. “A ACV é uma metodologia dependente das características regionais onde ela será aplicada” (METODOLOGIA, 2009). Nos países desenvolvidos, a declaração ambiental de produtos (EPDs), definida pela norma ABNT NBR ISO

14020: 2002, é uma exigência do mercado interno e acaba por abastecer bancos de dados de inventários de ciclo de vida. O fabricante torna-se mais competitivo e incentiva outras declarações voluntárias.

Os resultados do inventário do ciclo de vida são apresentados em forma de emissões, que são relacionadas às categorias de impacto ambiental. Esta é a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV), etapa onde são atribuídos impactos provenientes das emissões inventariadas. Cada emissão é relacionada a um impacto ambiental. Como exemplo, pode-se citar o descarte de excesso de nutrientes na água, como fósforo ou nitrogênio, que acarreta em eutrofização, isto é, a elevação de microorganismos na água através da proliferação de algas, extinguindo a vida subaquática.

A ABNT NBR ISO 14044: 2009 recomenda que as categorias de impacto definidas na ACV sejam aprovadas por um corpo de competência internacional (UNEP, OECD, EPA, etc). A relação entre emissões e categorias de impacto deve ser normalizada, o que significa ponderar certa quantidade de emissão a uma característica da composição atmosférica ou aquática regional. Como a normalização tem um caráter regional, apenas um tipo de normalização em um país de proporções continentais como o Brasil não é suficiente.

Além da normalização, as categorias diretamente relacionadas às emissões são as categorias de ponto médio ou intermediárias. Pode-se relacioná-las a efeitos secundários, como a relação da toxicidade humana com o câncer, e tais efeitos são as categorias de impactos finais ou métodos de danos orientados (PEGORARO, 2008). A partir dessa análise é possível identificar áreas de proteção que mais estão sendo prejudicadas. (FIG. 2.15).

Assim, pode-se deduzir que os resultados de uma ACV, quando dados em emissões, pouco informam. A caracterização dos impactos tem por objetivo interpretar essas emissões como efeitos. A interpretação de 2ª e 3ª ordem (categorias de pontos médios e métodos de danos orientados) torna o resultado mais impreciso, pois aproximações devem ser feitas. Por outro lado, os resultados são mais compreensíveis, principalmente

para um público leigo.

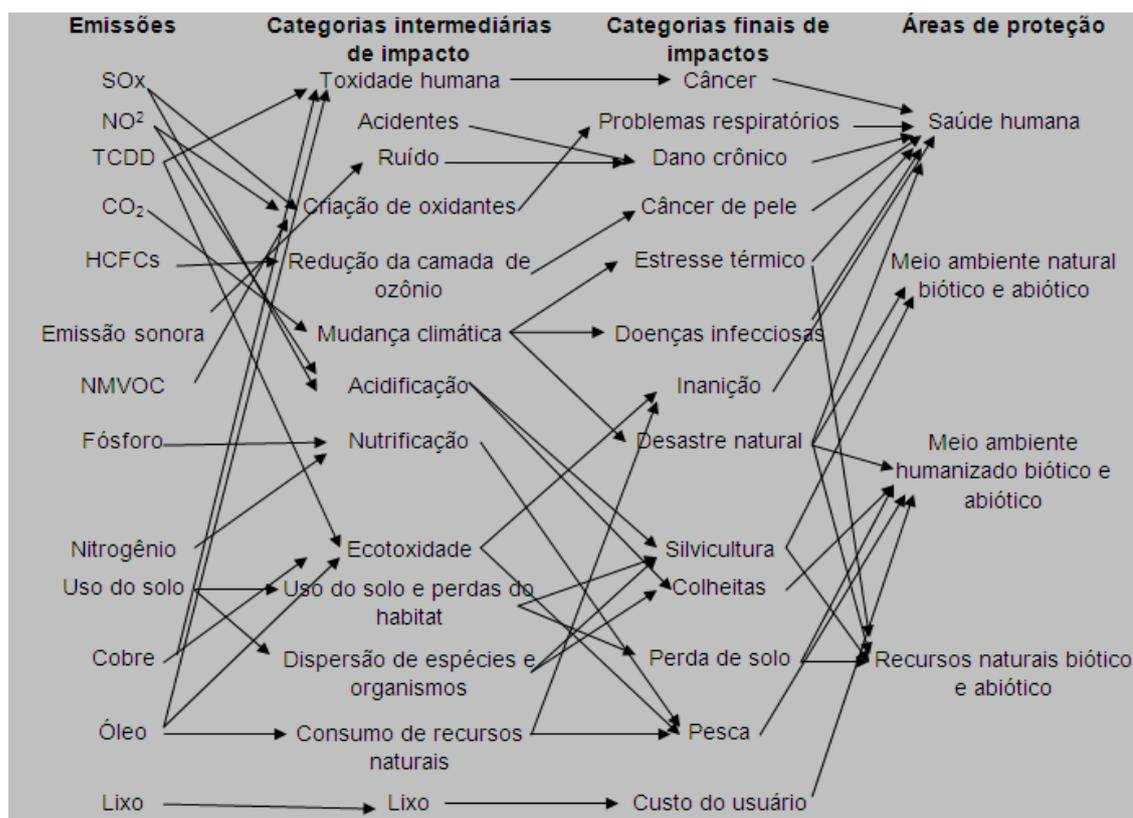


FIGURA 2.15 – Categorias de impacto relacionadas com emissões.

Fonte: Adaptado de NATIONAL, 2003.

Um dos métodos de AICV, o Ecoindicador, transforma os prejuízos à saúde humana por meio do indicador DALY (Disability-Adjusted Life Years/ Anos de Vida Perdidos Ajustados por Incapacidade), que transforma danos à qualidade do ecossistema pelo indicador PDF (Potentially Disappeared Fraction of Species/ Fração de Espécies Potencialmente Desaparecida) (PEGORARO, 2008). O DALY foi criado por WHO (MURRAY e LOPEZ, 1996) e apresenta duas parcelas de ponderação. Relaciona os impactos ambientais na saúde humana com os efeitos físicos e psicológicos, gerando o YLD (anos vividos com mobilidade condicionada, sigla em inglês para *years lost to disability*), e a redução teórica dos anos de vida em função dos impactos ambientais, gerando o YLL (anos de vida perdida, sigla em inglês para *years of lost life*). A soma dessas duas parcelas é o índice DALY em anos.

A AICV é proposta por órgãos do governo e institutos de pesquisa a partir de estudos

sobre as principais emissões de um país ou região e, segundo a ABNT NBR 14044: 2009, deve ter categorias aceitas internacionalmente. De acordo com SOUZA (2008), a AICV passa necessariamente por três etapas: a seleção das categorias, a correlação dos resultados do ICV (classificação) e o cálculo dos resultados dos indicadores de categoria (caracterização). Além desses, outras quatro são opcionais, dependendo da demanda: normalização (relação com uma situação de referência), agrupamento (em temas semelhantes), ponderação (caráter subjetivo) e análise da qualidade dos dados (estudos de incidência, incerteza e sensibilidade). Os resultados de uma AICV são percebidos em forma de caracterização de impactos ambientais.

As categorias de pontos médios apresentadas nos resultados de ACVs mais frequentes são (SOUZA, 2008):

- a. Acidificação: é resultado da ação de substâncias como dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e amônia (NH_3) com o vapor d'água na atmosfera, gerando os ácidos sulfúrico e nítrico. É a popularmente denominada chuva ácida.
- b. Depleção de Ozônio Estratosférico: está relacionado à emissão de substâncias como clorofluorcarbonos (CFCs) e halons. Essas emissões provocam a redução de ozônio (O_3) na estratosfera, o que por sua vez, aumenta a incidência de radiação ultravioleta sobre a superfície terrestre. Isso contribui para o desenvolvimento de doenças humanas e o desequilíbrio de ecossistemas.
- c. Ecotoxicidade: é a ação prejudicial de algumas substâncias tóxicas ao meio ambiente, seja na água ou no solo.
- d. Eutrofização: relacionado com o lançamento de excesso de nutrientes em corpos d'água, no solo ou no ar, causando o aumento da biomassa, como o crescimento exagerado de algas. Isso reduz a concentração de oxigênio dissolvido, eliminando a vida subaquática, neste caso.
- e. Formação Fotoquímica de Ozônio (Oxidante/ Smog Fotoquímico): algumas substâncias como os NO_x , os COVs, monóxidos de carbono e metano podem provocar formações de ozônio (O_3), caracterizada por uma névoa, causando problemas respiratórios e danos à vegetação.

- f. Mudança Climática (Aquecimento Global): aumento da temperatura terrestre pelo excesso das substâncias dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4). Isso ocorre porque essas substâncias concentradas na atmosfera absorvem radiações emitidas pela superfície da Terra.
- g. Toxicidade Humana: exposição humana a substâncias tóxicas através de ingestão e inalação, principalmente. Está relacionado com o diclorobenzeno ($\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$), dentre outros orgânicos.
- h. Radiação Ionizante: causa efeitos à saúde humana, como cânceres, em função da emissão de radionuclídeos (átomos com núcleos instáveis), que ocorre, por exemplo, na extração de rochas de fosfato.
- i. Uso do solo: relaciona-se com atividades que provocam alterações na superfície, como desmatamento de áreas em função do tempo de ocupação. Os efeitos estão diretamente relacionados à fauna e à flora regionais.

A FIG. 2.16 mostra a AICV para 1m^2 de piso cerâmico para dois tipos de fabricantes distintos, apresentando resultados em categorias de impacto de potencial de acidificação, aquecimento global, disposição de resíduos e potencial de impacto por uso de combustíveis fósseis. Essas são categorias de pontos médios, conforme explicitado por SOUZA (2008).

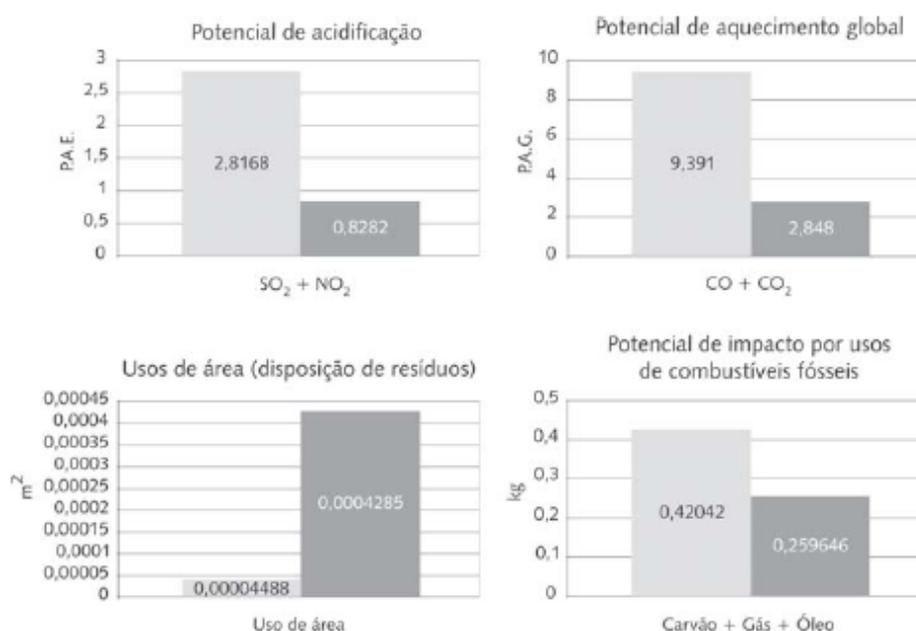


FIGURA 2.16 – Resultados da AICV para dois fabricantes de piso cerâmico.

Fonte: SOARES, 2004, apud SOARES, 2006.

As diferentes metodologias de AICV estão disponibilizadas em softwares para a realização de ACV e são resultados dos estudos regionais para definição de parâmetros para transformação de emissões em impactos.

Segundo SOARES (2006), os principais métodos em AICV são os europeus Ecoindicator, CML (*Centrum voor Milieukunde, Center for Environmental Science*), EPS (*Environmental Priority Strategies*), Impact, Recipe, Ecological Scarcity (antigo Ecopoints), EDIP (*Environmental Design of Industrial Products*), EPD (*Environmental Products Declaration*), os norte-americanos BEES (*Building for Environmental and Economic Sustainability*) e Traci (*Tools for Reduction and Assessment of Chemical or other Impacts*, desenvolvido pelo EPA), e o japonês LIME (*Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling*). O BEES é uma ferramenta de seleção de materiais que possui a AICV incorporada a ela.

TAKEDA *et al.* (2010) fizeram uma revisão sistemática em busca da ferramenta de AICV mais utilizada em artigos internacionais e nacionais e concluíram que, em mais de 80% dos casos pesquisados, o Eco-indicator foi utilizado, seguido do CML e do EPS.

2.4.3.2 Outras abordagens em ACV

A técnica de ACV como entradas e saídas de materiais e recursos é apresentada como um sistema fechado, em que saídas de recursos e materiais são contabilizados dentro daquele mesmo produto/ sistema. O material (entrada) reciclado é minimizador dos impactos ambientais, enquanto o produto (saída) reciclável pode não ter o mesmo impacto, pois não foi reaproveitado naquele mesmo sistema. Dessa forma, surge a ACV Consequencial, que visa contabilizar efeitos de um sistema em outro. À ACV de sistema fechado dá-se o nome de ACV Atribucional e a de sistema aberto ACV Consequencial (MUNIZ e SILVA, 2010).

Geralmente, a ACV não trata de aspectos econômicos e sociais (ABNT NBR ISO 14040:2001). Entretanto, vem sendo abordada a ACV Social (ACV-S), que trata dos impactos socioeconômicos do trabalhador, da comunidade local, da sociedade, dos consumidores e de outros atores no ciclo de vida. É uma conceituação nova, marcada pelo lançamento das Diretrizes para a Avaliação Social do Ciclo de Vida de Produtos em 2009 pela UNEP (UNEP, 2009; CORRÊA, 2010).

2.4.3.3 Estado da arte da ACV no Brasil

Os primeiros trabalhos em ACV no Brasil são provenientes da engenharia química, ligados à poluição atmosférica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli USP) (SILVA, 2001), e da engenharia mecânica, ligados aos impactos na agricultura da Universidade de Brasília (UnB) (CALDEIRA PIRES, 1999). Esses trabalhos tiveram início por volta do ano 2000.

A ACV no Brasil iniciou na indústria de produtos de uso imediato e tem a construção civil como uma de suas consequências. Mesmo em outros campos da economia brasileira a ACV encontra-se num estágio de formação de conceitos, adaptação de metodologias e construção de inventários básicos. Alguns inventários de materiais e insumos são base para grande parte dos produtos existentes. Por isso, o já citado “Sistema de Inventários do Ciclo de Vida no Brasil” (SICV Brasil) definiu algumas áreas prioritárias, de materiais e recursos, tais como:

- Tecnologias de geração de energia;
- Produção de materiais básicos como plásticos, papel, metais, madeira, produtos químicos orgânicos e inorgânicos e água;
- Transporte;
- Sistemas tecnológicos da construção civil e da indústria de embalagens;
- Tratamento de Resíduos, incluindo a reciclagem de energia, tratamento de resíduos e aterros sanitários.

Em 2009, foi publicada, pelo IBCIT, uma metodologia para a criação de inventários brasileiros, organizada por meio da consultoria da PE International, por uma equipe formada por pesquisadores da USP, UFTPR, UnB, IBCIT e da Universidade de Stuttgart. Essa metodologia foi aplicada nos Projetos Pilotos “Inventário do óleo diesel”; “Energia elétrica focada em Itaipu”, além da caracterização do transporte de carga médio no Brasil (METODOLOGIA, 2009).

Os trabalhos sobre ACV publicados no Brasil se dividem em assuntos gerais e específicos de setores da economia. Os assuntos gerais da ACV passam pela conceituação brasileira de ACV (ontologia) (SILVA, 2010), normalização de impactos da AICV por regiões brasileiras (TACHARD, 2008), transporte (STADLER, 2010), reciclagem (NOGUEIRA, 2010), ACV Social (FONTINELLI, 2010), ACV Consequencial (MUNIZ, 2010).

Em setores específicos da economia existem ACVs de produtos ou proposição de métodos aplicados a setores, tais como o setor têxtil (ARDUIN, 2010), agropecuário (RAMIREZ, 2010), automotivo (CORRÊA, 2010), ACV de embalagens (NOVAES, 2010), produção de biodiesel (MARSURA, 2010), ou aplicados a um tipo de impacto específico de um produto, como pegada hídrica e pegada de carbono (MARZULLO, 2010).

As aplicações existentes na construção civil serão tratadas na próxima seção. Os temas sobre a normalização e adaptação da ACV no Brasil e os temas que englobam infraestruturas brasileiras serão aprofundados a seguir. Quanto aos temas específicos a outros setores da economia, não serão aprofundados neste trabalho.

O IBCIT, juntamente com o grupo de Poluição da USP, formalizou a nomenclatura e definições de ACV no Brasil através do projeto Ontologia em ACV. Este trabalho contempla definições e relações semânticas com o objetivo de facilitar a manipulação do conhecimento e organizar a produção brasileira em ACV. Essa iniciativa oficializa a produção da ACV brasileira dentro de uma mesma nomenclatura (SILVA, 2010).

Além de uma nomenclatura correta e de definições relacionadas ao Brasil, a ACV deve estar relacionada ao ambiente do qual o sistema faz parte (TACHARD, 2010). Isso se reflete em três momentos da ACV: na seleção das categorias de impacto a serem analisadas, nos fatores de caracterização e na seleção dos fatores de normalização dos impactos selecionados. De acordo com TACHARD (2010), as características atmosféricas variam de região para região. Portanto, utilizar categorias internacionais com as ponderações de outros países pode incorrer em discrepâncias dos resultados das ACVs. Outros autores também se dedicam a investigar a adaptação das categorias de impacto, tais como SOARES (2008) e PEGORARO (2008).

Como comprovação desta afirmação, TACHARD (2010) analisou as categorias “acidificação” e “eutrofização” no Estado de São Paulo. Verificou que, em função da matriz energética brasileira e do uso do etanol como combustível, as emissões de SOx são mais baixas que na Europa, o que altera o resultado final da “acidificação”. Com relação à “eutrofização”, os fatores de normalização de São Paulo são superiores aos dados europeus, ou seja, deve-se considerar que valores menores de NOx potencializam mais a eutrofização em São Paulo do que na Europa. Tal fato ocorre em função do despejo de esgoto sem tratamento nos corpos hídricos, os quais, por esse motivo, já se encontram saturados. Para essas duas categorias, TACHARD comprovou a necessidade de um estudo região a região.

PEGORARO (2008) levanta possibilidades de agrupamento de regiões que possam ser bem representadas por normalização e por categorias de impacto comuns através das regiões hidrográficas, dos biomas, regiões geográficas ou políticas ou ainda um único grupo para o Brasil. Entretanto, SOARES (2008) afirma que só existem dados de emissões disponíveis para algumas áreas metropolitanas, abrindo, assim, uma nova demanda.

GOEDKOOOP (2005b) *apud* PEGORARO (2008) propõe categorias de impacto para América Latina como um todo, a saber:

1. Mudanças no uso do solo;
2. Efeitos de salinização devido à irrigação e à drenagem de minérios;
3. Erosão;
4. Extração de água de rios e de solos;
5. Diminuição da qualidade de solos devido à falta de fertilização;
6. Impactos de substâncias orgânicas de degradação rápida em água.

SOUZA, SOARES & SOUZA (2007), propuseram onze categorias de impacto para o Brasil: mudança climática; depleção de ozônio estratosférico; diminuição de recursos abióticos; acidificação; eutrofização; formação de oxidantes fotoquímicos; ecotoxicidade; toxicidade humana; consumo de água; uso do solo; e disposição de resíduos.

A contribuição de PEGORARO (2008) para a construção de uma AICV brasileira vem, através do estudo da categoria toxicidade, desenvolvendo um modelo com a determinação de fatores de caracterização, baseados no modelo suíço Impact 2002 (HUMBERT, *et al.*, 2005). Este modelo pode ser aplicado nos fatores de caracterização para outras substâncias químicas para o Brasil. Outras iniciativas importantes para o desenvolvimento da ACV no Brasil estão relacionadas com inventários e estudos da energia elétrica brasileira e do transporte rodoviário (STADLER, 2010).

RIBEIRO (2003) realizou o Inventário do Ciclo de Vida da Usina hidrelétrica de Itaipu, desde sua obra civil até um período de operação de 100 anos e, assim, obtém os impactos para a geração de energia elétrica. Como resultado, apresentou a etapa de construção como a parte mais impactante no ciclo de vida da hidrelétrica. Dessa forma, destacam-se o enchimento do reservatório, o ciclo de vida do cimento e do aço e a operação das máquinas de construção. O trabalho contribuiu para a construção do inventário da matriz energética brasileira, disponível na base de dado suíça Ecoinvent.

STADLER (2010) investiga as emissões ocasionadas pela queima de diesel no transporte de cargas rodoviário no Brasil. Os resultados do trabalho são fatores de emissão de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), NHMC, material particulado (MP) e dióxido de carbono (CO₂) em unidade de massa emitida para

transportar uma tonelada de produto a uma distância de 1 km.

COSTA (2002) apresenta um inventário de emissões atmosféricas na fabricação do aço dentro do processo siderúrgico. Baseia-se no conceito de Ecologia Industrial, origem da Avaliação de Ciclo de Vida. Dessa forma, apresenta as emissões geradas pelo processo de fabricação do ferro gusa, em alto forno de usinas integradas. UGAYA E COELHO (2006) realizaram o inventário do ciclo de vida do aço produzido no Brasil em 2004, utilizando a plataforma *Ecoinvent* e compararam com os dados disponíveis em 1998 da produção brasileira. A partir desse estudo, as autoras identificaram uma dificuldade em obter dados em função da disponibilidade de informação da indústria.

Na próxima seção será apresentado o estado da arte da ACV na construção civil, em busca de referências internacionais e no Brasil e a fim de compreender as possibilidades de aplicação da ACV na construção civil brasileira, no estágio atual.

2.4.3.4 Estado da arte da ACV na construção civil

Nos países desenvolvidos, a Avaliação de Ciclo de Vida para seleção de materiais é uma realidade e se encontra em estágio de amadurecimento. Em função disso, a estratégia utilizada para a realização de uma revisão bibliográfica sobre ACV em nível internacional foi a pesquisa nos anais dos congressos *Sustainable Building* (SB) do ano de 2008 a 2010, realizados pelo *International Initiative for a Sustainable Built Environment* (iiSBE). Os SBs são uma iniciativa para construção sustentável que ocorre em parceria com o Conselho Internacional da Construção (CIB) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP), dentro do *UNEP Sustainable Building and Construction Initiative* (SBCI). Através dessas pesquisas, verificou-se que a rotulagem ambiental baseada na ISO 14025 é responsável pelo abastecimento de boa parte dos bancos de dados de ACV em outros países. Desse modo, coube revisar o 13º *LCA Case Study Symposium*, realizado em Stuttgart, Alemanha, sobre o uso de Declarações Ambientais de Produtos (EPD) com foco no edifício e na construção civil.

O objetivo dessa revisão foi também identificar as ferramentas baseadas em ACV e quais categorias de impacto são mais utilizadas na construção civil, além de conhecer o estado da arte deste setor de uma forma ampla.

OSSET *et al* (2006) apontaram a certificação francesa HQE (correspondente ao AQUA brasileiro) como motivadora da busca por declarações ambientais baseadas em ACV por parte dos fornecedores de materiais na França. A partir das declarações ambientais baseadas em ACV (tipo III), uma ferramenta denominada *TEAMTM Bâtiment* permite a avaliação de sistemas construtivos a partir de categorias de impacto, tais como: consumo de recursos, energia e água, geração de resíduos, água e poluição do ar, potencial de aquecimento global, etc. Essa ferramenta foi criada pelo Ecobilan⁵, que atua em conjunto com o HQE na França.

VARES (2006) apresentou um projeto finlandês de apropriação das declarações ambientais de produtos (EPDs) da construção civil para uma linguagem compreensível pelos profissionais dessa área, a fim de construir um banco de dados desses materiais. Trata-se de um programa de adesão voluntária proposto pela Confederação Finlandesa da Construção Civil (*EKA-project*). Nesta proposta os EPDs devem possuir os seguintes conteúdos: Inventário do Ciclo de Vida; informações sobre transporte e energia; procedimento de avaliação ambiental; auditoria do processo.

EWIJK (2006) apresentou o estágio holandês em relação à Avaliação de Ciclo de Vida como ferramenta de seleção de materiais de construção, no setor residencial. Várias ferramentas foram desenvolvidas desde 2002 para avaliar e otimizar o impacto ambiental dos edifícios com desenvolvimento financiado por órgãos do governo holandês que estão relacionados à habitação e ao meio ambiente. Destaca-se o software *Eco-Quantum*, que utiliza como base de dados o *Simapro*, um software suíço de Avaliação de Ciclo de Vida geral, interpretando-o dentro das legislações holandesas e apresentando resultados por sistema construtivo, tais como: instalações (elétricas e

⁵ MeSH Browser [base de dados na Internet]. Bethesda (MD): National Library of Medicine (US); 2002- [acesso em 2003 Jun 10]. Meta-analysis; unique ID: D015201; [aproximadamente 3 p.]. Disponível em: https://www.ecobilan.com/index_uk.html Acesso em 29 jul. 2011.

hidráulicas), cobertura, escadas, pisos, divisórias internas, envoltórias, fundação e energia.

O indicador britânico BREEAM contém em sua estrutura o *Green Guide Rating*, que é um ferramenta baseada em ACV (GHUMRA, *et al.*, 2009). Dentro dessa ferramenta é possível montar o sistema construtivo, especificando cobertura, estrutura, paredes internas e externas e acabamentos. Depois da montagem, o software gera uma nota que vai dos conceitos E (menor) a A+ (maior). Cada um dos conceitos gera uma quantidade de créditos. Os dados disponíveis no *Green Guide Rating* são resultados de uma ação do governo britânico com o BRE (órgão que desenvolve o BREEAM faz parte) para obter dados dos fornecedores através de EPDs (ANDERSON, 2006).

A prefeitura da cidade de Barcelona, na Espanha, incorporou, a partir de agosto de 2006, uma regulação acerca da exigência de EPDs para conjuntos de materiais de construção civil, dentro dos critérios de ecoeficiência exigidos pela municipalidade. Dessa forma exige a declaração tipo III que inclui a ACV como ferramenta de rotulagem. O objetivo é contribuir para a produção de dados sobre impactos ambientais nas fases de uso, demolição e gerenciamento de resíduos (FULLANA *et al.*, 2006). Na sequência, a região da Cataluña – que tem como capital Barcelona – incorporou em seu código estadual exigências de EPDs na construção civil.

ALLIONE (2006) do Laboratório de Ecodesign do Politécnico de Torino, na Itália, propõe uma ferramenta *Concurrent Ecodesign* (CED), partindo do princípio de que ferramentas disponíveis no mercado naquele instante (2006) são propícias para a avaliação do projeto, mas pouco eficientes na tomada de decisões durante o processo de projeto. Assim, a ferramenta proposta na Itália baseia-se em alguns preceitos tais como:

- projeto para montagem com o objetivo de privilegiar soluções industrializadas;
- projeto para o uso, otimizando performances do sistema durante a vida útil;
- projeto para o desmonte, através da avaliação do potencial de desmontagem e de reciclabilidade;
- seleção de materiais que atendam quesitos de menor impacto ambiental e melhor

performances para as aplicações demandadas.

BRAGANÇA, MATHEUS e KOUKKARI (2008) apresentaram algumas ferramentas regionais que se baseiam em ACV na seleção de materiais e sistemas construtivos – ECO-QUANTUM (Holanda); ECOEFFECT (Suécia); ENVEST (Reino Unido); BEES (Estados Unidos); ATHENA (Canadá); e LCA HOUSE (Finlândia) – e descreveram o processo de uma ACV na construção civil. O objetivo é a aplicação em Portugal. Como categorias de impacto utilizadas na avaliação de um sistema construtivo, os autores propuseram: depleção de recursos abióticos, potencial de aquecimento global, depleção do ozônio estratosférico, acidificação, eutrofização, formação fotoquímica de ozônio, energia embutida não renovável e energia embutida renovável. O resultado por categoria é traduzido por um conceito único, através da metodologia portuguesa MARS (FIG. 2.17). Em uma segunda etapa, as categorias de pontos médios são transformadas em um único conceito que, aliado a um conceito social e econômico, geram um índice global de sustentabilidade (FIG. 2.18). Ao invés de valores absolutos ou percentuais, a ferramenta MARS apresenta o resultado de cada categoria em conceitos que vão de “A” a “E”.

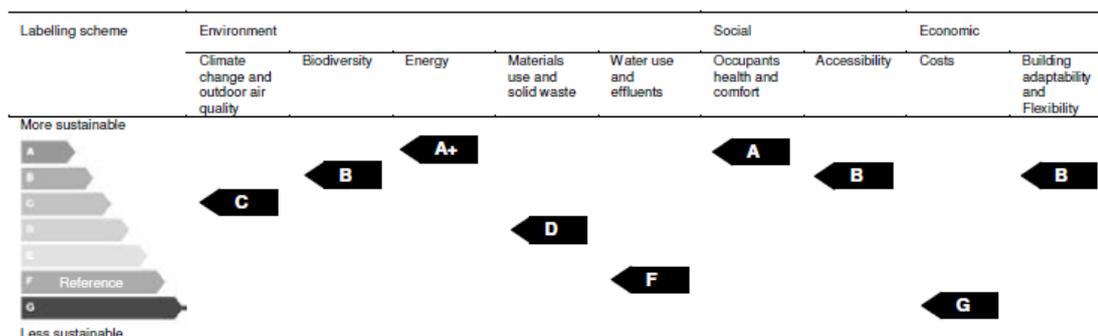


FIGURA 2.17 – Resultado da metodologia MARS-H proposta por BRAGANÇA *et al.* (2008) – por categorias.

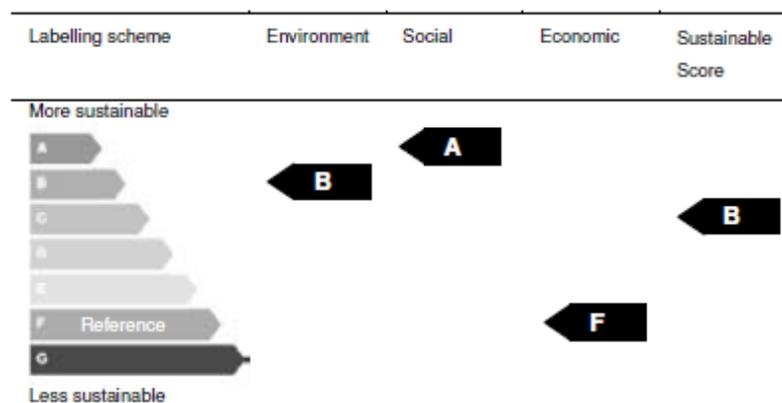


FIGURA 2.18 – Resultado da metodologia MARS-H proposta por BRAGANÇA *et al* (2008) – índice global.

O *Green Globes*, certificador ambiental utilizado no Canadá e nos EUA, utiliza como ferramenta de avaliação de impacto ambiental de materiais o *Athena Impact Estimator*. Trata-se de uma ferramenta que possibilita as montagens de sistemas de divisórias externas, divisórias internas, coberturas, esquadrias, pisos e estrutura, a partir de um banco de dados baseado em EPDs norte-americanas. Além disso, o *Athena Impact Estimator* está atrelado aos desempenhos regionais que os sistemas devem ter, definindo unidades funcionais a partir desses desempenhos. Apresenta como categorias de impacto a energia embutida, potencial de aquecimento global (em função do CO₂eq), esgotamento de recursos, poluição do ar e da água (BRYAN e WAYNE, 2008).

O *U.S National Institute of Standards and Technology* (NIST) possui uma ferramenta de seleção de materiais norte-americanos baseada na performance ambiental (ACV) e econômica (*life cycle cost*, LCC), o *Building Environmental and Economics Sustainability* (BEES). Nesta ferramenta são comparados componentes isoladamente e seu resultado ambiental é dado por meio de uma caracterização de impacto própria, que possui as seguintes categorias: acidificação, poluentes no ar, ecotoxicidade, eutrofização, depleção de combustíveis fósseis, aquecimento global, alteração do habitat, saúde humana, qualidade do ar, depleção de ozônio, água imprópria e ozônio estratosférico (LIPPIATT e HELGESON, 2008).

HAJEK, FIALA e MUKAROVSKY (2008) apresentam um estudo de redução do impacto ambiental através da desmaterialização da estrutura em concreto na República Tcheca. A ACV foi aplicada a seis alternativas de estrutura para piso com variações nas formas estruturais. O resultado foi dado em energia embutida, em emissões de CO₂ e em emissões de SO_x e apresentou a solução de menor massa, ainda que com aditivos de menor impacto nas três categorias estudadas.

PEREZ, BAIRD e BUCHANAN (2008) realizaram ACVs comparativas para um edifício comercial de cinco pavimentos localizado em Christchurch, Nova Zelândia. O objetivo foi comparar opções de estrutura em concreto, metálica e em madeira. Dessa forma, avaliou-se a energia consumida ao longo de 60 anos do edifício, incluindo seus desmonte e fabricação e a emissão de CO₂. Foram utilizados parâmetros legais da Nova Zelândia como unidades funcionais e utilizado o software de simulação energética *Design Builder* para a energia operacional. Para as emissões de CO₂ foram utilizados dados de emissões para fabricação de cada um dos materiais e estimadas as emissões de uso e demolição do edifício. Como resultados têm-se a fabricação do aço para estrutura com maior energia embutida, seguida da madeira e, por fim, o concreto. Com relação às emissões de CO₂, as estruturas em concreto e em aço tiveram praticamente a mesma quantidade de emissões, enquanto que a estrutura de madeira emite menos CO₂ ao longo de seu ciclo de vida.

KUS, EDIS e OZKAN (2008) comparam três tipologias de vedação típicas da Turquia: bloco de concreto celular autoclavado, bloco de concreto vazado e bloco de tijolo cerâmico furado. A ACV foi delimitada de berço ao portão de fábrica. Como critérios de análise foram levantados consumo de recursos naturais e de energia, emissão de gases de efeito estufa e uso do solo. De acordo com esse estudo, o concreto celular autoclavado é o material que menos consome matérias primas devido à alta porosidade do material. O tijolo cerâmico furado, por sua vez, é o de maior energia embutida, em função das altas temperaturas demandadas no processo de cozimento. Todos os resultados foram dados em emissões, e não houve caracterização de impactos.

MASA *et al* (2008) apresentam o estágio atual da Austrália para avaliação de materiais e sistemas construtivos. O *Building Assemblies and Material Scorecard* (BAMS) é uma iniciativa australiana que busca promover uma base comum de comparação de materiais e sistemas construtivos e baseia-se nas ACVs da Iniciativa Nacional do Ciclo de Vida (AusLCI). São fichas onde se incluem as etapas de construção (matérias primas, transporte, montagem), uso e operação e desconstrução. Como principais indicadores de impacto ambiental são apresentados esgotamento de recursos naturais, uso de água, mudança climática, poluentes que afetam a saúde humana e uso do solo. Essas fichas são baseadas no sistema do BREEAM (certificador britânico).

HÄKKINEN e KIVINIEMI (2008) abordam o processo BIM (*Building Information Model*) como uma solução para incorporar a ACV nos processos de tomada de decisão em fase de projeto. O *Finnish Senate Properties*, uma organização do governo da Finlândia que trata da construção civil, definiu algumas informações primordiais em um edifício. Essas informações passam por programa de necessidades, legislação local, projeto arquitetônico, projeto estrutural, projeto aquecimento e resfriamento ativo, projeto elétrico e gerenciamento de obra. HÄKKINEN e KIVINIEMI (2008) também propõem a incorporação das declarações ambientais nas ferramentas BIM de projeto. Para tal, são apresentadas dificuldades em definir padrões mínimos tais como já existem acerca de consumo energético, iluminação, etc. A proposta é incorporar padrões de ACV definidos por certificadores ambientais. Como resultado dessa discussão tem-se a ferramenta finlandesa BSLCA que avalia envoltórias, equipamentos e energia.

Similar ao trabalho finlandês, JONE *et al* (2008) apresentam uma ferramenta que integra informações de ICVs (inventários de ciclo de vida) às ferramentas CAD (*computer aided design*). A ferramenta em teste é denominada *LCADesignTM* e vem sendo aplicada em projetos pilotos na Austrália, Holanda, Califórnia (EUA) e Alemanha desde 2005. O projeto piloto holandês inclui informações de esgotamento de recursos, energia embutida e emissão de poluentes associadas às operações de extração de matéria prima, fabricação, transporte e montagem do elemento na construção. Essa ferramenta está consolidada na Austrália (LCA DESIGN, 2011) e incorpora as informações do

sistema CAD e, através da definição de materiais, importa informações de ACV, gerando gráficos de categorias de impacto de métodos de danos orientados.

BECALLI *et al.* (2008) realizam a ACV de uma residência localizada na costa mediterrânea da Itália. Para definição das categorias de impacto foi utilizado o sistema EPD que inclui potencial de aquecimento global, depleção de ozônio estratosférico, formação fotoquímica de ozônio, acidificação e eutrofização.

Em Hong Kong existe uma ferramenta para seleção de materiais de construção civil com base em critérios de impactos ambientais, custos e foco em saúde humana (WONG *et al.*, 2008). Em 2008, eram 110 opções de materiais analisados em cada uma das etapas do ciclo de vida (extração de matéria prima, fabricação do material, transporte, construção, uso e operação no edifício, manutenção e descarte) sob critérios de: energia incorporada, esgotamento de recursos naturais, consumo de água, resíduo, potencial de aquecimento global, acidificação, depleção de ozônio estratosférico, toxicidade humana, ecotoxicidade, custos iniciais, de manutenção e de demolição. A caracterização dos impactos ambientais, normalização e ponderação são feitos por uma adaptação nacional denominada *HK Environ-pt*.

A Coreia possui um software denominado *Sustainable Building Life Cycle Assessment* (SUSB) que avalia sistemas construtivos coreanos a partir do ciclo energético, de emissões de carbono e de custos (SHIN *et al.*, 2008).

ASSEFA e GLAUMANN (2008), do *Royal Institute of Technology* da Suécia, discutem a ponderação da Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida através do método de danos orientados. Segundo os autores, a ponderação de impactos ambientais na construção civil tem sido feita livremente, sem reflexão, chegando a resultados subjetivos. Através da utilização do software sueco *EcoEffect*, de uso específico para a construção civil, verificaram a possibilidade de utilizar o DALY como indicador final em ACVs realizadas pelo software.

O CASBEE, sistema certificador japonês, incorporou em 2008 critérios de emissões de CO₂ na sua ferramenta interna de avaliação de materiais e sistemas construtivos (SATO *et al.*, 2008).

A partir de uma iniciativa do governo norueguês (*Norwegian Housing Bank* e *National Office of Building Technology*) foi desenvolvida uma ferramenta nomeada *GLITNE tool*. Essa ferramenta baseia-se em declarações ambientais tipo III de produtos da construção civil, abastecendo um banco de inventários de ciclo de vida, e utiliza ferramentas BIM para incorporar os dados ao projeto, contribuindo para a tomada de decisões. Além dos impactos ambientais, existem dados relativos ao custo do ciclo de vida (STRAND-HANSEN *et al.*, 2008).

VILLAREAL *et al.* (2010) analisam o consumo médio de materiais para construções residenciais na região de Lleida, na Espanha, e observam quais materiais com baixo consumo em uma obra podem ser responsáveis por grande parte das emissões. Os que mais emitem CO₂, tais como cerâmicas, cimento e aço, possuem baixo consumo em massa na obra. No trabalho dos autores citados, 20% do total de material utilizado numa obra típica emite 250.000 t de CO₂, seguido do cimento (7% do total de material e aproximadamente 100.000 t de CO₂) e do aço (1% do total com 200.000 t de CO₂). As medidas foram estimadas ao longo do ciclo de vida.

GERVASIO *et al* (2010) analisam uma residência, cujo sistema construtivo é o *Light Steel Framing* (sistema construtivo metálico autoportante), sob a ótica do isolamento térmico, acústico e do impacto ambiental ao longo do ciclo de vida (ACV). Para tal considera que as paredes externas serão recuperadas em 20 anos e as paredes internas serão pintadas a cada 20 anos. Foi utilizado o software *Simapro* e como ferramenta de AICV o Ecoindicator com categorias de fim de vida. Como cenários finais considerou-se que 80% da estrutura será reciclada, ou que 90% da estrutura será reutilizada. Considerando os dois cenários de destino final, a reutilização gerou o menor resultado esperado em termos de impacto ambiental.

ALMEIDA *et al* (2010) apresentam a ACV de um tijolo cerâmico produzido em Portugal. As informações para a realização da ACV foram extraídas da declaração ambiental do produto (EPD), sendo esta a saída proposta pelo autor para a construção de um banco de dados de materiais da construção civil. Como ferramenta de avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) foi utilizada o CML para caracterização e as categorias apresentadas foram: potencial de aquecimento global, depleção de ozônio estratosférico, formação fotoquímica de ozônio, acidificação e eutrofização.

BRAGANÇA e MATEUS (2010) apresentam as possibilidades portuguesas para a criação de bancos de dados de ACVs de materiais da construção civil. Para isso, propõem o uso das EPDs como forma de abastecer continuamente o banco de dados e analisam os critérios de avaliação de materiais contido nos certificadores em atuação em Portugal. Os certificadores avaliados pelos autores foram o SBTool, Green Globes e o LEED. Desses, apenas o LEED não utiliza ACV para avaliar os materiais. Outra questão abordada no trabalho de BRAGANÇA e MATHEUS são as categorias de impacto sugeridas pelo CEN TC 350 – padronização europeia para ferramentas de sustentabilidade. São elas: potencial de aquecimento global, depleção de ozônio estratosférico, acidificação, eutrofização e formação fotoquímica de ozônio.

Pode-se perceber que os estudos em ACV nos países citados estão em estágio avançado. Na maioria dos casos, os EPDs foram citados como fontes de abastecimento dos Inventários de Ciclos de Vida. Além disso, o estágio atual é de apropriação e experimentação de ferramentas específicas para seleção de materiais e sistemas da construção civil. No âmbito da caracterização dos impactos ambientais, as ferramentas existentes se mostram adequadas às realidades daqueles países e a revisão feita apresentou as principais categorias de impactos utilizadas na construção civil.

No Brasil, a abordagem de materiais de baixo impacto ambiental na construção civil é proveniente de grupos de estudo de subprodutos (resíduos) da construção civil, tendo como destaque a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EP USP), com trabalhos de AGOPYAN (SILVA, SILVA e AGOPYAN, 2001). A partir daí dois pesquisadores iniciaram pesquisas que abarcam a ACV na construção civil: JOHN

(2003) e SILVA (2003). JOHN (2003), em seus primeiros trabalhos, analisou as emissões provenientes da indústria cimenteira e a partir daí busca critérios de avaliação de sustentabilidade de materiais que refletem a realidade, partindo do conceito de energia incorporada, materiais preferenciais e avaliação de ciclo de vida. SILVA (2003), por sua vez, iniciou seu trabalho em busca de uma metodologia de avaliação da sustentabilidade de edifícios comerciais. Foi um trabalho pioneiro no Brasil no que diz respeito ao uso de indicadores de sustentabilidade na construção civil, ressaltando o conceito de Avaliação de Ciclo de Vida como base metodológica para os sistemas de certificação (LEED, BREEAM, etc). Segundo SILVA (2003), apesar da ACV ser uma boa ferramenta, é considerada insuficiente, pois não agrega valores econômicos e sociais, mais importantes em países como o Brasil que nos países de origem desses certificadores (EUA, Inglaterra). Ainda de acordo com essa autora, existe uma carência de estudos sobre efeitos de desmontagem e demolição, projeto de adaptabilidade e uso de materiais biodegradáveis. O trabalho de SILVA (2003) se desenvolve acerca dos sistemas de certificação ambiental e na proposição de uma metodologia para avaliar um edifício comercial como um todo, a partir das etapas de análise da ACV (berço – túmulo).

Em 2002, a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) iniciou suas atividades sobre ACV e fundou um grupo de pesquisa homônimo, reconhecido pelo Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) em 2006. Esse grupo é formado por membros do departamento de Engenharia Ambiental e aborda a ACV para diferentes tipos de materiais, inclusive os construtivos, que são o objetivo de algumas pesquisas (SOARES, 2006). Dentro dessas pesquisas destacam-se as voltadas para o levantamento do inventário de ciclo de vida de alguns materiais construtivos, como pisos cerâmicos de diferentes fabricantes do estado de Santa Catarina (PEREIRA, 2004) e blocos cerâmicos e de concreto para alvenaria estrutural (MASTELLA, 2004). Nessa pesquisa, Mastella conclui que o bloco cerâmico possui um impacto maior que o bloco em concreto, considerando a etapa de produção do bloco. Em ambos os casos (pisos e blocos), o inventário se limitou à etapa de produção do material.

O Núcleo Orientado para a Inovação na Edificação (NORIE) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFGRS) passou a desenvolver trabalhos a partir de 1997 sob o foco de comunidades e edificações sustentáveis. A questão abordada neles é a da aplicação de princípios de sustentabilidade para a construção civil (SATTLER, 2007). O impacto ambiental de materiais e sistemas construtivos ocorreu no núcleo de pós-graduação a partir do ano 2000 com o trabalho de SPERB (2000), intitulado “Estudo comparativo dos impactos ambientais no ciclo de vida de materiais de construção de cinco tipologias habitacionais de uma Vila Tecnológica em Porto Alegre”. Nesse trabalho foram focados o conteúdo energético e os gastos com transporte.

Destacam-se também as pesquisas sobre o impacto ambiental da cerâmica vermelha, iniciada em 2000 por GRIGOLETTI (2001) e MANFREDINI (2002). Nelas foram analisadas 18 (dezoito) indústrias produtoras de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul, utilizando a metodologia de ACV no que diz respeito ao consumo de materiais e energia. Essa análise abordou o consumo energético, consumo de água, perda de material e geração de resíduos ao longo do processo produtivo, emissão de poluentes aéreos, líquidos e sólidos, ocupação e degradação do solo e transporte. Observou-se que existe uma preocupação das indústrias em produzir com baixo impacto ambiental, através do uso de energias alternativas e da reutilização de resíduos provenientes da própria produção. Essas pesquisas serviram de referência na especificação de materiais em projetos de extensão do NORIE para construção de escolas e conjuntos habitacionais no Rio Grande do Sul (RS).

Outro trabalho de referência do NORIE foi o desenvolvimento de critérios de seleção de subsistemas de coberturas para a habitação social, baseado em parâmetros ambientais, tais como: consumo de recursos naturais, disposição de resíduos e qualidade do ambiente interno (OLIVEIRA, 2005).

Na mesma linha de pesquisa de SILVA (2003) está o trabalho de FOSSATI (2008), que desenvolve uma metodologia de avaliação de edifícios de escritórios em Florianópolis. A autora avalia parâmetros como o uso e ocupação do solo, água, energia, materiais e recursos, transporte e acessibilidade e qualidade do ambiente interno e saúde, a partir do

conceito de ACV. Esse trabalho está inserido no grupo de pesquisa do Laboratório de Eficiência Energética (LABEEE) da UFSC.

O trabalho de OLIVEIRA (2004), realizado na EPUSP, aborda telhas produzidas a partir de resíduos de pós-consumo de papel, conhecidas no mercado como telhas ecológicas, a partir do seu desempenho ambiental. A ACV foi utilizada para identificar processos a serem melhorados ao longo do ciclo de vida das telhas. Segundo descreve a própria autora,

Na etapa de produção, a unidade de processo de secagem do material é um ponto que precisa ser melhorado. Para realizar a secagem do material utiliza-se o GLP como combustível para o secador e na queima do GLP há emissão de CO₂ para a atmosfera contribuindo assim com o Potencial de Aquecimento Global. Na etapa de distribuição do produto, a queima de óleo diesel, usado como combustível no transporte, contribui com o Potencial de Oxidação Fotoquímico, Acidificação, Toxicidade Humana e Eutrofização.

SILVA (2005) apresenta a ACV de tijolos prensados que utilizam escória de alto forno. Em seu estudo, a pesquisadora utiliza a plataforma *Simapro* para montagem da ACV e o *Ecoindicator 99* como método de AICV. Trata-se de uma contribuição inicial para a elaboração de uma base de dados brasileiros.

YUBA (2005) desenvolveu uma avaliação de componentes construtivos provenientes do plantio florestal com o intuito de abordar as três dimensões da sustentabilidade: econômica, ambiental e social. Esse trabalho foi realizado na Escola de Engenharia de São Carlos da USP, no Departamento de Engenharia Ambiental. A autora percebeu que a dimensão ambiental possui um grau de detalhamento muito maior do que as dimensões econômica e social. Com isso, a análise da sustentabilidade tem sido parcialmente analisada em detrimento da simplificação e necessidade de gerar resultados imediatos.

TAVARES (2006) apresenta um trabalho desenvolvido no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE-

UFSC) sobre análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras, incluindo não só a energia gasta ao longo da vida útil da edificação como também a energia para fabricação e desconstrução do sistema. Verifica-se na pesquisa o uso do conceito de energia incorporada, utilizando-se o gasto energético e o balanço de CO₂ nos resultados apresentados.

Ainda em 2006, LIMA (2006) desenvolveu sua dissertação na Escola de Arquitetura da UFMG utilizando os conceitos de ACV como uma metodologia para desenvolvimento de projetos arquitetônicos. Em sua pesquisa, o autor aborda aspectos referentes ao uso convencional de materiais na construção civil e a influência dessa escolha nos processos de reutilização, reciclagem e ciclo de vida em geral. Nesse sentido, o pesquisador propõe o uso de um instrumento que avalia qualitativamente os impactos ambientais de um sistema construtivo, utilizando cores relacionadas a bom, regular e ruim, de forma que é percebido, claramente, o desempenho geral do material em questão. Mais adiante será feita uma experiência com a metodologia proposta por este autor para uma edificação estruturada em aço.

ROZENDO (2006) apresenta o estágio brasileiro na produção de Declaração Ambiental de Produtos (EPDs) da construção civil. Alguns empreendimentos imobiliários citados por este autor, pleiteando a certificação LEED, realizaram EPDs de materiais. Entretanto, o autor acredita que essa iniciativa é vista apenas como um extra dentro dos critérios apresentados.

Destaca-se, no contexto atual, o trabalho de uma equipe multidisciplinar, que envolve cinco universidades públicas brasileiras (Universidade de São Paulo, Universidade Estadual de Campinas, Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade Federal de Uberlândia, Universidade Federal de Goiás), e que tem como foco questões de déficit habitacional com práticas de construção mais sustentáveis. A discussão ocorre a partir de temas como água, energia, seleção de materiais, consumo de materiais e canteiro de obras. JOHN e OLIVEIRA (2007) apontam-se algumas discussões sobre a seleção de materiais e a avaliação de sustentabilidade dos mesmos baseadas em:

- peculiaridades dos produtos da construção;
- complexidade dos processos variáveis ao longo do ciclo de vida;
- complexidade dos processos e das cadeias produtivas dos materiais e componentes;
- complexidade das questões ambientais.

SILVA *et al.* (2008) apresentam a ACV de tijolos cerâmicos e de solo cimento que utilizam em sua composição co-produtos (resíduos provenientes da produção que servem de matéria-prima para novos produtos) do aço e da extração de pedras de mármore e granito. Nesse trabalho, os autores utilizam o software SIMAPRO para inventariar os materiais e o software Ecoindicator 99 para ponderar categorias de impacto.

SIGNORETTI (2008) apresenta um estudo sobre o controle das emissões de NO_x, SO_x e metais pesados nos fornos de produção de clínquer na indústria do cimento. O autor investigou a possibilidade de utilização de combustíveis alternativos como pneus e resíduos contaminados com metais pesados a fim de reduzir a emissão térmica de compostos orgânicos perigosos.

FERREIRA (2009) utiliza o “Pensamento de Ciclo de Vida” como base para gerenciamento de resíduos de construção (RCD). Para tal, acredita que a racionalização e o papel de decisão do arquiteto no início do processo são primordiais para o sucesso deste gerenciamento. Assim, realiza uma análise a partir do portão do canteiro de obra até o descarte dos RCDs gerados. O autor baseia-se no conceito de “Pensamento de Ciclo de Vida”, e não de Inventário de Ciclo de Vida (ICV), por utilizar dados secundários e por querer dar uma visão mais ampla ao tratar o pensamento da metodologia em ACV. Questionários foram aplicados em instituições e empresas e, em seguida, foram estabelecidos alguns critérios de seleção e aplicação desses critérios. Dentro da mesma lógica está o trabalho de NUNES *et al.* (2010), que apresenta soluções para o manejo do RCD na cidade do Rio de Janeiro utilizando a metodologia de ACV.

SAADE *et al.* (2010) avaliam o impacto das escórias siderúrgicas em uma empresa brasileira e comparam com o potencial de utilização e valorização da escória de alto-forno e de aciaria. A pesquisa apresenta também a comparação entre os resultados utilizando dados brasileiros e de bases de dados estrangeiras com substancial diferença entre as etapas de maior impacto. Dessa forma, o trabalho reforça a necessidade de utilizar informações nacionais e de gerar dados para uma base de brasileira.

SURGELLAS (2010) aplicou a ACV em bloco cerâmico e bloco de resíduo de construção a partir do beneficiamento do resíduo de construção e demolição (RCD) da cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais. Este autor trabalha com o conceito de logística reversa ao entender o destino dos RCDs como fontes para outros sistemas ou para o mesmo sistema. Os resultados de categorias de impacto foram dados em emissões de CO₂ e energia incorporada, apresentando pior resultado para o bloco cerâmico na emissão de CO₂ e maior energia incorporada no bloco de RCD. Neste trabalho foi utilizado o software *Umberto* para a realização de ACV.

MORAIS e SPOSTO (2010) compararam os revestimentos cerâmicos e em granito para sistemas de fachada através da energia incorporada em cada um desses. As etapas analisadas são extração, fabricação e transporte, e os materiais seriam aplicados em Brasília, Distrito Federal. O material de menor gasto energético nessas etapas é o granito. Embora não trabalhe com a ACV, os autores demonstram que, do ponto de vista energético, é possível realizar um estudo confiável.

MONICH e TAVARES (2010) apresentam o panorama das informações de materiais de construção sobre emissões de CO₂. Foram levantados e atualizados dados de CO₂ embutidos nos materiais de construção civil no Brasil. Os materiais apresentados são os mais comuns na construção civil, e o levantamento considerou o ciclo de vida desde a extração até a saída da fábrica.

KULAY *et al.* (2010) apresentam o inventário do ciclo de vida de berço a portão da cerâmica de revestimento, especificamente o porcelanato esmaltado. As emissões foram contabilizadas para a produção de 1000kg de porcelanato esmaltado branco. Como

resultado, deu-se destaque para os impactos de transformação do solo e para a emissão de partículas geradas na mineração de feldspato e caulim. O trabalho se restringiu ao inventário, e não apresentou resultados por categorias de impacto.

2.4.3.5 Estratégias de aplicação da ACV na construção civil no Brasil: ferramentas qualitativas e quantitativas

Como o objetivo do presente trabalho é apresentar uma metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida que contemple o sistema construtivo e aplicável ao Brasil, coube aprofundar em algumas estratégias e ferramentas próprias da construção civil. Dessa forma, são apresentadas nesta seção uma ferramenta qualitativa, voltada para a construção civil brasileira, e outras ferramentas que são utilizadas em outros países, estas com o objetivo de verificar a aplicabilidade das mesmas na metodologia que será aqui proposta.

Considerando a ausência de Inventários de Ciclo de Vida (ICV) de materiais da construção civil brasileira, LIMA (2006) desenvolveu um trabalho de avaliação qualitativa dos impactos ambientais do “berço ao túmulo” dos edifícios, focado no PCV (“Pensamento de Ciclo de Vida”). O objetivo desse autor é que os arquitetos utilizem essa metodologia para seleção de materiais de construção. Assim, a avaliação ambiental poderá acontecer em paralelo com as decisões de projeto, sem que haja a necessidade de interromper o processo para a realização de uma ACV complexa. Para tal, LIMA (2006) delimita as etapas do ciclo de vida da edificação e lista itens de desempenho ambiental a serem avaliados, de forma que a metodologia funcione como um *checklist* na seleção de materiais.

As etapas do ciclo de vida dos materiais se dividem em: obtenção de matéria-prima, fabricação do produto, aplicação do componente à edificação, utilização e reutilização do produto e descarte e reciclagem do produto. Na TAB. 2.7 estão listados os itens a serem avaliados e em qual etapa do ciclo de vida ocorrem.

TABELA 2.7– Itens a serem avaliados na proposição de LIMA.

Fonte: Adaptado de LIMA, 2006.

ITEM AVALIADO	FASES EM QUE OCORRE	O QUE ANALISAR
Matéria-prima de fonte renovável ou não-renovável	Obtenção de matéria-prima, Descarte/Reciclagem.	Origem da matéria-prima: fontes renováveis, extrativismo, fontes fósseis, material reciclado. Na fase de descarte é avaliado se é fonte de reciclagem.
Impacto ambiental da extração da matéria-prima	Obtenção de matéria-prima.	Possíveis consequências ambientais da extração da matéria-prima, como a contaminação ou a supressão do ecossistema. Impactos relacionados ao transporte da matéria-prima.
Utilização de energia	Todas as fases.	Grande uso de energia elétrica em qualquer etapa do ciclo de vida; se o produto contribui para o uso de energias alternativas; se a edificação apresenta ambientes mais eficientes.
Utilização de água	Todas as fases.	Se o produto contribui para a diminuição do consumo em todas as etapas; se a edificação apresenta equipamentos neste sentido.

Emissão de poluentes na água	Todas as fases.	A existência de emissões poluidoras em todas as fases do ciclo de vida, incluindo a utilização da edificação.
Emissão de poluentes no ar	Todas as fases.	A existência de emissões poluidoras em todas as fases do ciclo de vida, incluindo a utilização da edificação.
Emissão de poluentes no solo	Todas as fases.	A existência de emissões poluidoras em todas as fases do ciclo de vida, incluindo a utilização da edificação.
Montagem/Desmontagem do(s) produto(s)	Fabricação; Utilização/Reutilização; Descarte/Reciclagem.	Facilidade de montagem e desmontagem do produto na edificação; facilidade de separação de materiais diferentes para reciclagem.
Durabilidade/Necessidade de manutenção	Utilização/Reutilização do produto e da edificação.	Durabilidade média do produto; necessidade de reaplicação de acabamentos.
Distribuição geográfica do produto	Fabricação do produto/ Aplicação à edificação.	Necessidade de grandes transportes da matéria-prima até a fabricação, e do produto até o local de uso.
Reciclabilidade/ Reutilização	Descarte/Reciclagem do produto.	Facilidade de reciclagem dos materiais do produto, facilidade de reutilização do produto.
Biodegradabilidade/Impacto ambiental da deposição	Descarte/Reciclagem do produto.	Potencial de biodegradabilidade do produto, potencial de incineração, ou deposição no solo, sem impacto ambiental.

O resultado da análise proposta por LIMA (2006) é um Quadro de Desempenho Ambiental preenchido somente nas fases em que ocorre cada um dos impactos (FIG. 2.19). As células preenchidas receberão as cores verde, amarelo e vermelho, que representam o resultado do impacto, bom, regular e ruim, respectivamente.

ITEM/ETAPA DO CICLO DE VIDA	Obtenção da matéria-prima	Fabricação	Aplicação na edificação	Utilização/ Reutilização	Descarte/ Reciclagem
Matéria-prima de fonte renovável ou não-renovável					
Impacto ambiental da extração de matéria-prima					
Utilização de energia					
Utilização de água					
Emissão de poluentes na água					
Emissão de poluentes no ar					
Emissão de poluentes no solo					
Distribuição geográfica do produto					
Montagem/ Desmontagem do(s) produto(s)					
Durabilidade/ Necessidade de manutenção					
Reciclabilidade/ Reutilização					
Biodegradabilidade/ Impacto ambiental da deposição.					

FIGURA 2.19 – Quadro de desempenho ambiental proposto por LIMA.

Fonte: Adaptado de LIMA, 2006.

A metodologia proposta por LIMA (2006) se mostra bastante eficiente no que diz respeito à comunicação dos resultados ao profissional da construção civil, pois utiliza uma linguagem intuitiva. Entretanto, o conceito atribuído é subjetivo, pois depende da interpretação dada pelo arquiteto ou engenheiro sobre a descrição do impacto. Além

disso, o trabalho do autor é calcado no pensamento de ciclo de vida, pois avalia impactos potenciais por etapa da vida do sistema. Não possui um Inventário de Ciclo de Vida e não relaciona categorias de impacto reconhecidas internacionalmente.

Embora no Brasil os estudos sobre ACV na construção civil estejam em fase inicial, existem tentativas de utilização de softwares estrangeiros juntamente com bancos de dados de inventários (ICVs) de materiais da construção civil (SILVA, 2008 e SOARES, 2006). Existem softwares gerais que atendem aos diversos setores da economia e softwares próprios para materiais e sistemas da construção civil. Os softwares gerais permitem a inserção de dados e possuem bancos de dados de ICVs de materiais da construção civil, além de outros tipos de materiais. Tratam-se de ferramentas integradoras de ICVs e AICVs, pois possibilitam que novos dados diferentes e inúmeros métodos de AICVs sejam adicionados. Como exemplo desses softwares, pode-se citar o *Simapro* (holandês), o *Gabi* (alemão) e o *Umberto* (alemão).

Existem softwares específicos para a seleção de materiais e sistemas da construção civil que podem estar ou não integrados a sistemas certificadores. Como ferramentas integradas aos sistemas certificadores têm-se o *Team* (HQE francês) e o *Green Guide Rating* (BREEAM inglês). Como ferramentas independentes, mas com possibilidade de serem utilizadas por certificadores, tem-se o *Concurrent Design* (Itália), o *Ecoeffect* (Suécia), o *Envest* (UK), o *LCA House* (Finlândia), o *MARS* (Portugal), o *LCA Design* (Austrália), o *GTline* (Noruega), o *BEES* e o *Athena Environmental Impact Estimator* (Canadá). O último deles é a ferramenta indicada pelo Green Globes (certificador canadense) para avaliar materiais. De uma forma geral, esses softwares são fechados, baseados em materiais de aplicação regional e muitas vezes abastecidos por EPDs. Dessa forma, não permitem a inclusão de novos dados. Além disso, possuem metodologias próprias de AICVs, estas já regionalizadas.

Todos os programas listados acima são ferramentas baseadas nas normas internacionais, nas quais as normas ABNT NBR ISO 14040: 2009 e ABNT NBR ISO 14044: 2009 também foram baseadas. As estruturas dos programas são semelhantes: existe uma base de dados de ICVs ou várias bases à escolha do usuário (no caso dos softwares abertos).

Essas bases de dados abastecem o programa de informações sobre processos e emissões em cada etapa. Os sistemas são montados de acordo com as possibilidades de cada software e, em seguida, é utilizada uma ferramenta de AICV embutida no sistema, que passa por categorias de impacto estruturadas, descritas no início dessa seção (2.3), conforme recomendadas pela ABNT NBR ISO 14044: 2009.

O *Building for Environmental and Economical Sustainable* (BEES) é um software de origem norte-americana, desenvolvido e atualizado pela agência de proteção ambiental norte-americana, a US-EPA, dentro do National Institute of Standards and Technology (NIST). Esse programa aborda questões de avaliação do ciclo de vida ambiental e econômica. Funciona como um banco de dados de materiais da construção civil norte-americano que integra e comunica seus dados por avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV). Além de apresentar os dados de inventário de ciclo de vida, possui embutido uma AICV baseada em critérios utilizados pela Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), cujas ponderações podem ser customizadas. Seus resultados são apresentados em categorias de impacto ambiental e em termos de custo financeiro. As categorias de impacto apresentadas são: aquecimento global, acidificação, eutrofização, depleção de combustível fóssil, qualidade do ar interno, alteração do habitat natural, qualidade da água, índice de poluição do ar, fumaça fotoquímica, toxicidade ecológica, depleção da camada de ozônio e saúde humana. Nas ponderações apresenta a possibilidade de se utilizar recomendações do EPA, do próprio BEES, além de utilizar ponderações igualitárias ou customizadas (FIG. 2.20).

Environmental Impact Category Weights												
Weight Set:	Globalwarm	Acidifcatn	Eutrophctn	FosFuelDep	Indoor_Air	Habit_altn	Water_Innk	Crit_Air_P	Smog	Ecolog_Tox	Ozone_Depl	Human_Hlth
User-Defined	9	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8	8
EPA Science Advisory Board	16	5	5	5	11	16	3	6	6	11	5	11
BEES Stakeholder Panel	29	3	6	10	3	6	8	9	4	7	2	13
Equal Weights	9	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8	8

FIGURA 2.20 – Categorias de impacto utilizadas no BEES.

Fonte: BEES, 2007

Os materiais catalogados no BEES são classificados em: equipamentos de manutenção de edifícios, de reformas ou restaurações, trabalho in loco, mobiliário, acabamentos

interiores, envoltórias e subestrutura. Cada um desses, por sua vez, é subdividido, como no caso das envoltórias em fundações, estruturas e vedações. Dada a classificação, o programa apresenta os materiais disponíveis em seu banco de dados com seus respectivos fabricantes. Após a escolha do material, deve-se especificar qual a distância de transporte será necessária. Em seguida, são apresentados os resultados de impactos ambientais e de custos, dependendo da necessidade do usuário. Estes resultados são processados em forma de gráficos, conforme apresenta a FIG. 2.21.

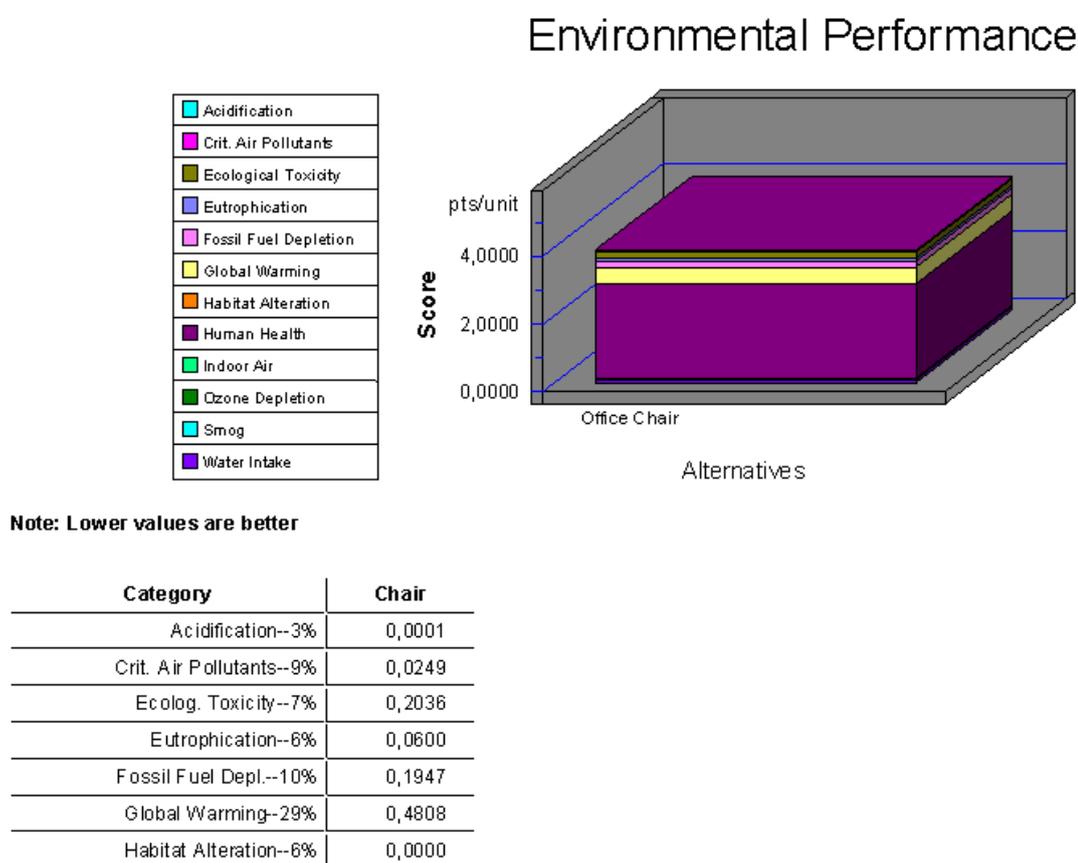


FIGURA 2.21- Resultados da análise de uma cadeira de escritório.

Fonte: BEES, 2007.

O BEES é um programa voltado para o mercado norte-americano e, portanto, é inviável utilizá-lo em outros países como ferramenta de seleção de materiais e sistemas. Apesar disso, é um bom referencial de interatividade com o usuário e exige pouco

conhecimento em ACV para sua utilização. O problema ainda é na apresentação dos resultados, onde as categorias de impacto são dadas em pontos médios, o que dificulta o entendimento por parte dos profissionais especificadores de materiais. Somente a partir da construção de um inventário brasileiro de materiais de construção e da criação ou adaptação de uma ferramenta de AICV para o Brasil seria possível construir uma ferramenta brasileira similar ao BEES.

Quanto ao *Athena Environmental Impact Estimator*, é uma ferramenta desenvolvida para análise de sistemas construtivos criada pelo Athena Sustainable Materials Institute, uma organização financiada pelo governo canadense. Os dados que abastecem o software são oriundos do CANADIAN LCI Database (banco de dados de ICVs dos EUA), já que a atuação do software é na América do Norte. A ferramenta permite que sejam feitas composições de materiais mais utilizados pela construção civil canadense e aplicação mediante a montagem desse material aos sistemas que são divididos em: fundações, paredes exteriores e interiores, estrutura, pisos e coberturas. Além das definições de materiais, é necessário especificar dimensões a serem utilizadas nos projetos, conforme apresenta a FIG. 2.22.

The dialog box is titled "Modify a concrete flat plate slab and columns system". It contains the following elements:

- Assembly Name:** A dropdown menu showing "Third floor roof".
- Number of Bays:** A text input field containing "9".
- Bay Size (m):** A text input field containing "7.500".
- Floor to Floor Height (m):** A text input field containing "3.600".
- Span (m):** A text input field containing "6.000".
- Live Load:** Radio buttons for "2.4 kPa" (selected), "3.6 kPa", and "4.8 kPa".
- Type:** Radio buttons for "Roof" (selected) and "Floor".
- Units:** Radio buttons for "SI" (selected) and "Imperial".
- Concrete:** Radio buttons for "20 MPa", "30 MPa" (selected), and "60 MPa".
- Concrete Flyash %:** Radio buttons for "average" (selected), "25%", and "35%".
- System:** Buttons for "Next >>>" and "<<< Previous".
- Buttons:** "Help", "Delete this system", "Done", and "Cancel".
- Summary:** "Floor area (m2): 405.00".
- Diagram:** A 3D schematic of a slab and columns system with dimensions S and B indicated.

FIGURA 2.22 – Montagem de dados de um sistema estrutural no Athena Impact Estimator Demo.

Fonte: ATHENA, 2008.

O *Athena Impact Estimator* é um programa fechado, que possui uma base de dados própria, abrangendo 90 a 95% das montagens estruturais e de vedações norte-americanas, capaz de simular aproximadamente 1200 montagens. Além disso, abrangem dados de processos de carga térmica, combustíveis fósseis e transporte, proveniente do National Renewable Energy Lab, órgão do governo norte-americano para energias renováveis. Dessa forma, o Athena Impact Estimator não permite a inserção de dados adicionais. Os resultados do inventário são apresentados em energia total consumida, emissões no ar, emissões na água, emissões no solo e redução de recursos naturais. As categorias de impactos são provenientes da metodologia TRACI, que são: energia consumida, potencial de acidificação, potencial de aquecimento global, potenciais efeitos na saúde respiratória humana, potencial de redução de ozônio estratosférico, fumaça fotoquímica, potencial de eutrofização e ponderação de uso de recursos naturais. Além disso, os

resultados são dados por etapa do ciclo de vida, o que facilita a identificação de qual etapa é mais impactante, possibilitando uma intervenção para melhoria do sistema (FIG. 2.23).

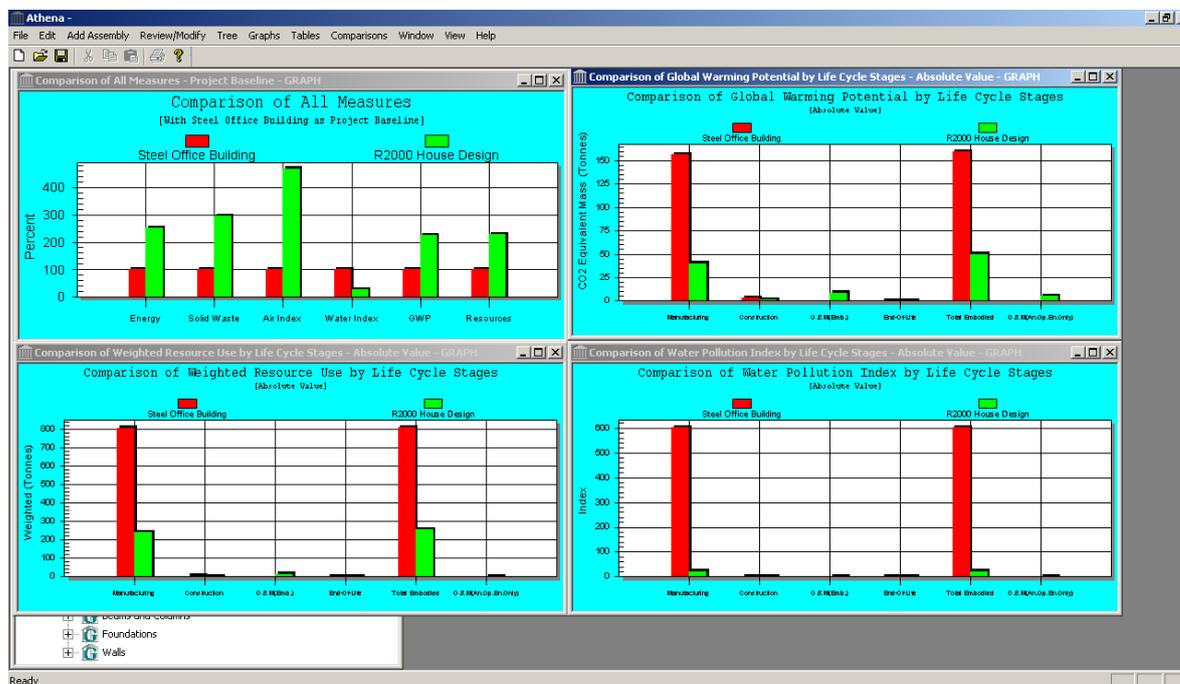


FIGURA 2.23– Resultados do Athena Impact Estimator em algumas categorias de impacto.

Fonte: ATHENA, 2008

A avaliação do *Athena Impact Estimator* inclui a interface entre os subsistemas construtivos, já que apresenta o resultado da ACV para o edifício como um todo. Tendo em vista seu próprio banco de dados e categorias de impacto que não podem ser ponderadas pelo usuário, a utilização deste programa limita-se aos Estados Unidos e ao Canadá. Apesar disso, apresenta-se como um software mais próximo do ideal para sistemas construtivos, já que abarca interações entre os sistemas e componentes.

O Simapro é um programa holandês aberto e muito utilizado na construção civil. Nas configurações do programa é permitido selecionar ICVs a serem utilizadas, bem como importar outra base ICV, ou até mesmo acrescentar dados à base existente, quando da análise de um material específico.

De acordo com GOEDKOOOP *et al.* (2008), algumas bases de ICV possíveis de serem utilizadas no Simapro 7.1 são: Ecoinvent, Japanese Input Output Database, US Input Output Database, Danish Input Output Database, Ducht Input Output Database, Industry Data, LCA Food Database, ETH-ESU 96, Buwal 250, IDEMAT 2001, Franklin US LCI database, Data archive, IVAM database. Dessas, destaca-se o Ecoinvent, de origem suíça, que apresenta dados de materiais da construção civil, além de dados da indústria alimentícia, agricultura, etc. Outras bases de dados citadas envolvem processos da economia local, agricultura, alimentos e engenharia de materiais. A FIG. 2.24, apresenta o fluxo do ciclo de vida de uma edificação no sistema construtivo Light Steel Framing (LSF), resultado do Ecoinvent. Cabe ressaltar que no Ecoinvent já existem alguns inventários de ciclo de vida brasileiros, a saber: matriz hidrelétrica, cadeia da soja, cadeia da cana de açúcar e madeira pinus (ECOINVENT, 2009).

Os sistemas são montados por meio das fases do produto, que incluem a montagem com os componentes, o ciclo de vida, o cenário de destino final e os elementos a serem desmontados e reutilizados. Através dessa montagem, e analisando o ciclo de vida em uso do sistema, é possível visualizar um fluxograma de materiais e suas quantidades estimadas.

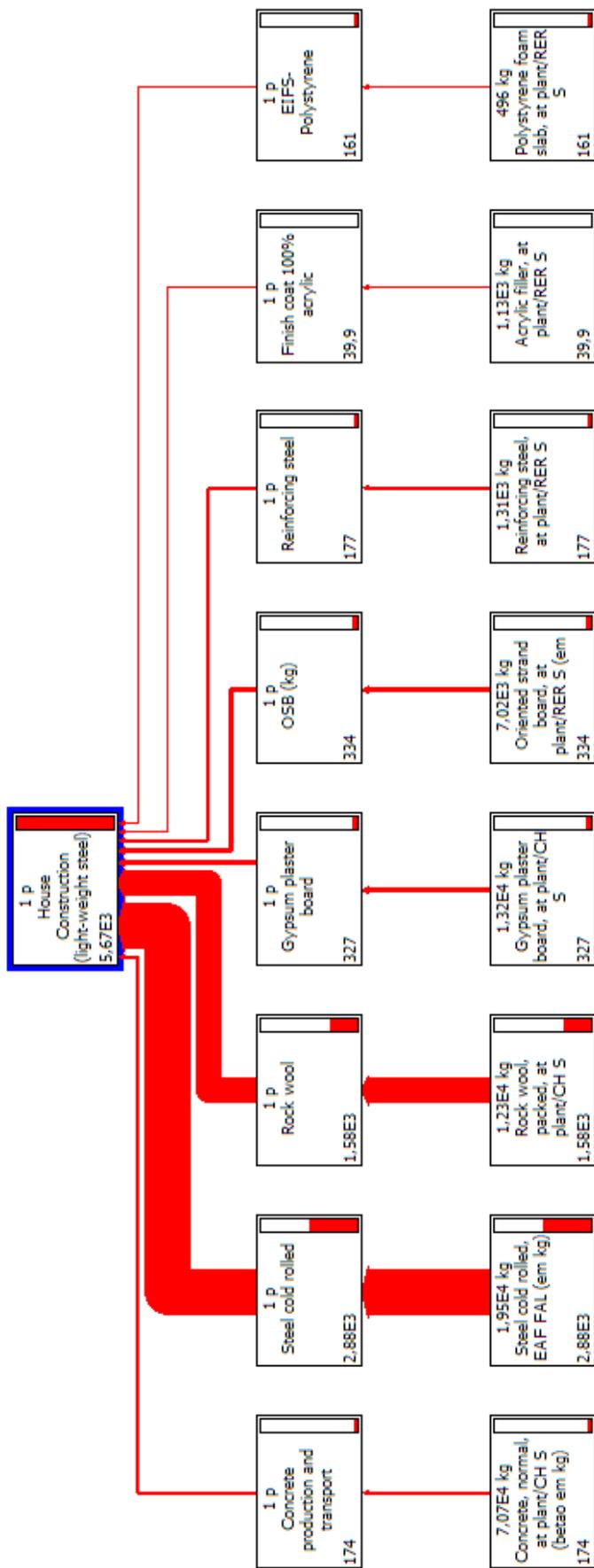


FIGURA 2.24 – Inventário de Ciclo de Vida de residência em Light Steel Framing pelo Ecoinvent
 Fonte: GERVÁSIO, 2007.

O ciclo de vida apresentado em forma de fluxograma é analisado segundo uma das ferramentas de AICV disponíveis no software. O Simapro é aberto a métodos de AICV, tais como o Eco-indicator 99, o Eco-indicator 95, o CML 92, o CML 2 (2000), o EDIP/UMIP, o EPS 2000, o Ecopoints 97, o Impact 2000+, o TRACI, o EPD Method, o Cumulativy Energy Demand e o IPCC Greenhouse gas emissions, destacando em cada um deles quais categorias estão contidas e quais estão suprimidas (GOEDKOOOP *et al.*, 2008). Além de identificar métodos de AICV mais adequados ao caso estudado no Simapro, o usuário pode intervir alterando a ponderação dos impactos conforme lhe convier. A FIG. 2.25 apresenta a AICV de uma vedação hipotética a partir das categorias de impacto, utilizando o Ecoindicator 99.

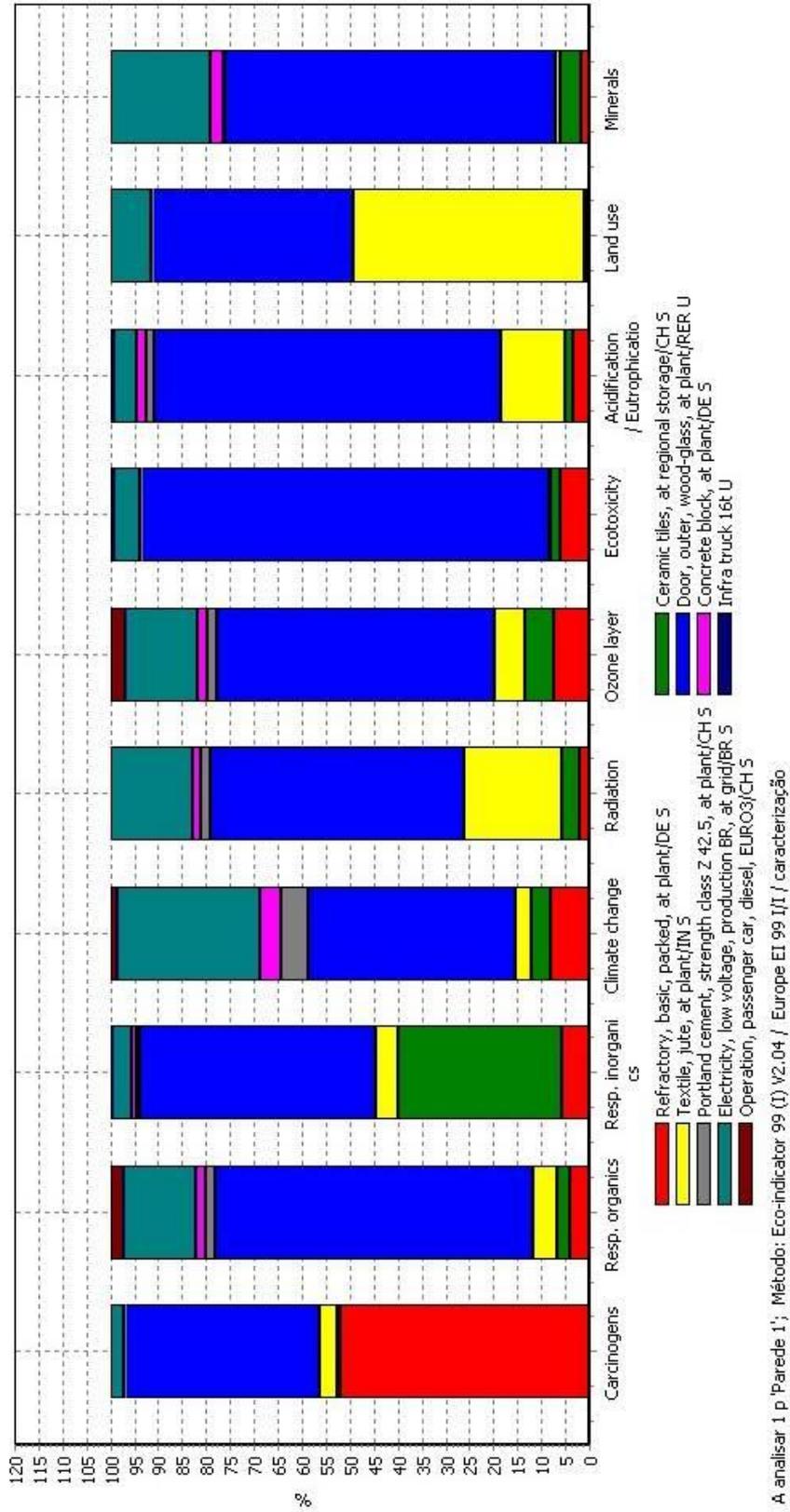


FIGURA 2.25 – AICV de uma vedação utilizando categorias de impacto intermediárias .
 Fonte: SIMAPRO, 2008.

Por se tratar de uma ferramenta que atende a todos os produtos da economia, o Simapro apresenta algumas fragilidades quando aplicada à construção civil. Uma situação específica da construção civil é que existem dois momentos de fabricação: a fabricação dos componentes e a instalação em obra. Cada um desses estágios apresenta características distintas e passíveis de intervenção.

2.4.3.6 Considerações sobre o estado da arte da ACV no Brasil e na construção civil e direcionamentos para a tese

A principal questão deste trabalho é como utilizar a ACV em sistemas construtivos no Brasil, um país onde não existem inventários de materiais de construção. A ACV tem origem na indústria de produtos de uso imediato e, por isso, é uma ferramenta adequada a eles. Os edifícios, produtos da construção civil e da arquitetura, possuem etapas de ciclo de vida e características específicas. Essas características passam pela longevidade do edifício e pela etapa de obra. Eles podem durar séculos, o que dificulta a previsão de impactos ambientais ao longo desse processo, além da dificuldade em prever a vida útil. A obra é um segundo processo de produção, diferente do que ocorre nos produtos manufaturados de uso imediato e traz consigo a agregação de múltiplos sistemas em um produto único, o que dificulta as análises em ACV. Cada produto que compõe o edifício tem suas cargas ambientais provenientes do seu processo de fabricação e passa por uma nova transformação ao ser incorporado ao sistema construtivo. Esse pensamento está ilustrado na FIG. 2.26, a seguir.

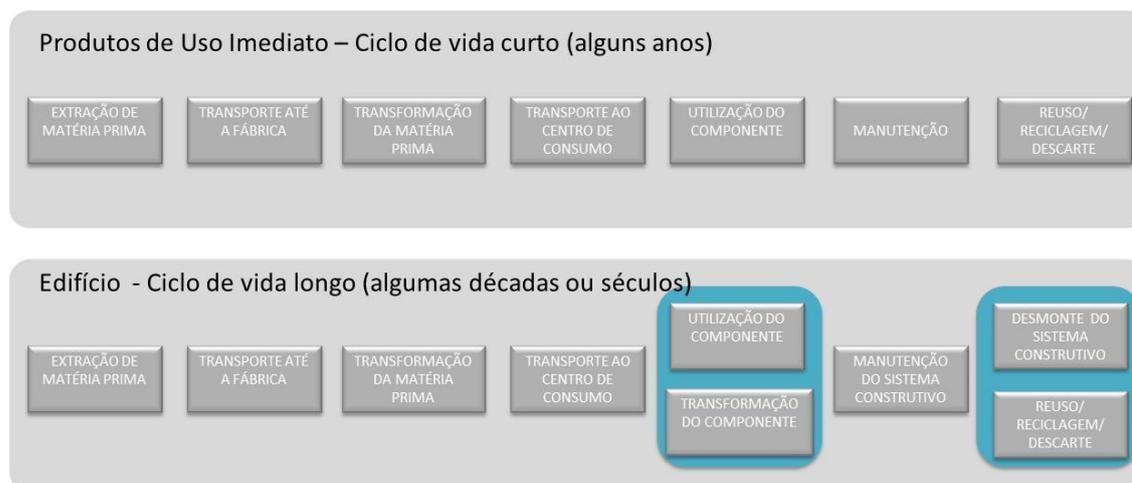


FIGURA 2.26 – Diferenças entre o ciclo de vida de materiais de uso imediato e ciclo de vida de edifícios.

Conforme já explicitado neste capítulo, ferramentas de ACV voltadas para a construção civil e para os sistemas construtivos já existem, entretanto, são realidades de países onde há bancos de dados dos materiais constituintes dos edifícios, atualizados constantemente pelas EPDs (declaração ambiental do produto) e por iniciativas nacionais de ICVs (inventários de ciclo de vida). Parte-se do princípio de que essas ferramentas não são aplicáveis à construção civil brasileira, pois a maioria dos dados estrangeiros não podem ser utilizados no Brasil. O objetivo é, portanto, propor uma metodologia que possa abarcar a construção civil e que possa incorporar dados brasileiros na medida em que esses forem sendo criados.

Futuramente, no momento em que o inventário de materiais de construção estiver avançado, essa metodologia contribuirá para a seleção de sistemas construtivos com base em impactos ambientais. No estágio atual da ACV brasileira, essa seleção não é possível por não existirem inventários de ciclo de vida de produtos da construção civil e por não existirem métodos de AICV aplicáveis às diferentes regiões do Brasil.

A partir desta revisão bibliográfica, destacaram-se as ferramentas BEES, ATHENA *Impact Estimator* e *Simapro* e a metodologia proposta por LIMA (2006), que vão de encontro com o objetivo deste trabalho (avaliar sistemas construtivos através da ACV). Entretanto o uso dessas ferramentas e metodologias encontra alguns entraves, tais

como:

- A metodologia de LIMA (2006) apresenta resultados qualitativos e subjetivos e segue princípios de ACV, mas não pode ser considerada uma ACV em função das etapas e informações inexistentes, bem como da avaliação de impactos ambientais. É uma boa iniciativa no sentido de identificar etapas do ciclo de vida de um edifício que devem ser consideradas e de comunicar informações sobre impactos ambientais aos projetistas. No entanto, os subsistemas e componentes que formam o sistema construtivo possuem o mesmo peso, independente da quantidade de material utilizada.
- O *software* BEES permite a comparação entre dois materiais de mesma função e não apresenta a interação entre os sistemas e o impacto da quantidade de material utilizada. Além disso, os dados e a AICV não são apropriáveis no Brasil.
- O *Athena Impact Estimator* é o *software* mais apropriado para avaliação de sistemas construtivos, uma vez que foi concebido para este fim. Entretanto, apresenta os mesmos entraves do BEES quanto à apropriação de dados e à utilização da AICV. Além disso, mesmo com um banco de dados consolidado no Brasil, é um *software* que não permite a inserção de dados gradativos.
- O *Simapro* é um *software* que permite maior interação com o usuário. Através dele é possível verificar inventários de produtos, inserir novos componentes, selecionar categorias de impacto relevantes dentro de uma AICV. Por ser um *software* generalista em ACV, os resultados disponibilizados não são ideais para a avaliação do ciclo de vida total do edifício. Se considerarmos uma ACV de berço ao portão, os produtos da construção civil se comportam tais como produtos de uso imediato. Neste caso, os resultados da contribuição de cada componente fazem sentido, pois a intenção é interferir na composição do produto.

A partir dessas observações, elaborou-se uma metodologia baseada nessas ferramentas e no que elas tinham de mais adequadas ao propósito deste trabalho: abarcar a construção civil e incorporar dados brasileiros na medida em que esses forem sendo criados. Sendo assim, o conceito e a avaliação do sistema construtivo utilizado do software *Athena Impact Estimator* é o objetivo ideal deste trabalho. Como se trata de um software fechado, abastecido por EPDs e ICVs próprios dos EUA e Canadá, utilizou-se o *Simapro*, através de sua customização visando a avaliação dos sistemas construtivos brasileiros. No próximo capítulo são apresentadas as estratégias para a elaboração dessa metodologia, seus os materiais e os métodos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A estratégia utilizada para desenvolver um método que possa auxiliar na escolha de sistemas construtivos iniciou-se no entendimento prévio das demandas de avaliação ambiental dos sistemas construtivos brasileiros, através de um organograma que possa expressar o conceito de sistema construtivo e seus impactos, seguindo do uso do software *Simapro*, através de sua customização de forma que o resultado expresse a demanda de um sistema típico da construção civil. Foram utilizados materiais e métodos distintos para a análise através do organograma e para a validação da metodologia utilizando o *Simapro*, que serão descritos a seguir.

3.1 Materiais: definição da unidade funcional para a realização do organograma

Para aplicação do organograma que expressa o sistema construtivo e os impactos ambientais existentes, foi realizada a ACV em uma edificação já em uso. Esta edificação serve de base para definição dos parâmetros, limites e fronteiras da unidade funcional a ser utilizada. Assim, o limite da unidade funcional é um módulo de um edifício universitário localizado em Caratinga, Minas Gerais. Este módulo possui dimensões de 8,00x,800 m dentro de uma área total de 1575,00m². Foi implantado na Lagoa do Piau, em uma área de proteção ambiental, conforme mostra a FIG. 3.1.

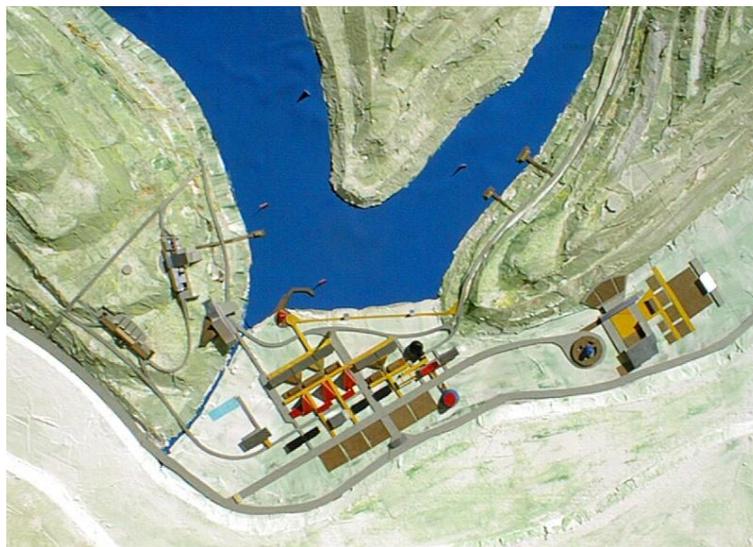


FIGURA 3.1 – Implantação do Campus Piau.

Fonte: PODESTÁ, 2006.

A escolha inicial do Edifício Piau como base para a unidade funcional é justificada pelo discurso de sustentabilidade, que consiste na intervenção de um arquiteto em uma área de proteção ambiental a partir da utilização de conceitos de redução, reutilização e reciclagem para a seleção de sistemas construtivos e conceitos de arquitetura bioclimática, no que diz respeito à ventilação e iluminação natural (ARQUITETURA & AÇO, 2009). A FIG. 3.2 ilustra a aplicação dessas ideias no Edifício Piau.



FIGURA 3.2 – Vista lateral do Edifício Piau.

Fonte: ARQUITETURA & AÇO, 2009.

Seguindo os conceitos de arquitetura bioclimática, o projeto do edifício prevê o aproveitamento de ventos dominantes e a iluminação natural sem aquecimento

excessivo. Uma das características do edifício é ser uma construção em palafita, liberando o terreno para a recuperação ambiental, instalação e manutenção de sistemas hidrossanitários, elétrica, lógica, além de permitir a passagem da ventilação e o isolamento da umidade do solo, já que o terreno fica às margens de uma lagoa. A fachada sul possui planos envidraçados, protegidos por elementos de sombreamentos (brises) que permitem iluminação natural sem calor excessivo, enquanto a fachada norte é composta por varandas de circulação entre as salas de aula e janelas altas que ajudam na iluminação natural e na ventilação cruzada (FIG. 3.3).



FIGURA 3.3 – Fachada Sul com planos envidraçados e protegidos

As estratégias de ventilação se baseiam na ventilação cruzada no pavimento térreo, cuja entrada de vento ocorre pelas esquadrias localizadas próximas ao lago (Fachada Sul, FIG. 3.3) e saída pelas aberturas existentes entre as salas de aula e a circulação (FIG. 3.4).



FIGURA 3.4 – Esquema de ventilação do edifício.

Fonte: ARQUITETURA & AÇO, 2009.

O projeto prevê salas de aula de tamanhos padronizados em dois pavimentos, salas de administração, auditório e instalações sanitárias, conforme a FIG. 3.5.

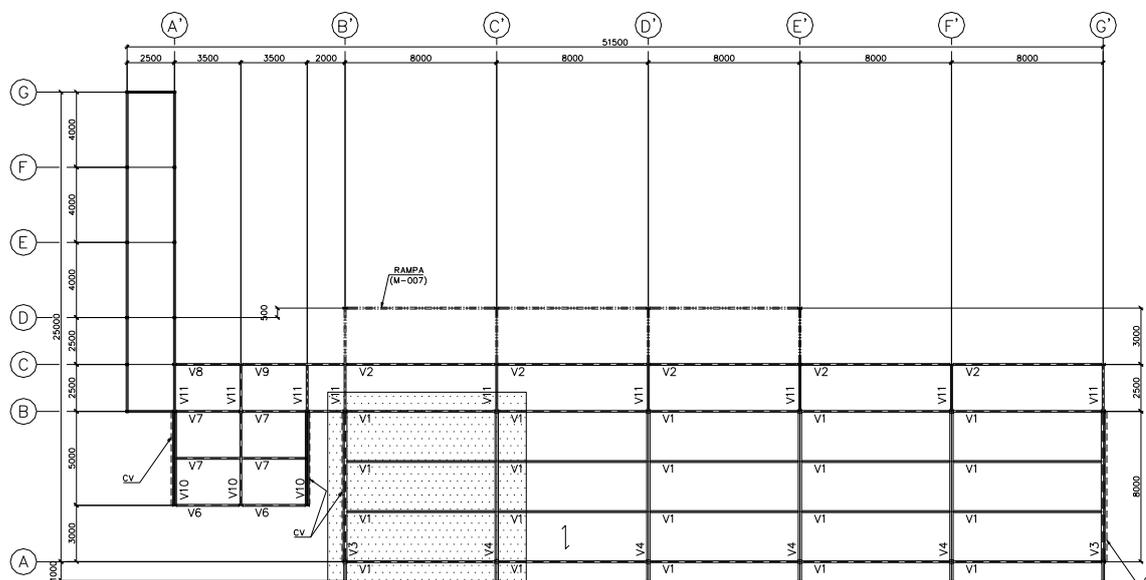


FIGURA 3.5 – Planta Edifício Piau.

Fonte: PODESTÁ, 2006.

O retângulo tracejado apresenta o trecho expresso no organograma a ser apresentado no capítulo a seguir. Todas as características descritas até então são fixas e definem os limites da unidade funcional.

Para a definição dos parâmetros foram observados os sistemas construtivos que compõem o edifício original, que são (FIG. 3.6):

- Sistema de vedação interna: “dry-wall”;
- Sistema de vedação externa em painéis de concreto celular autoclavado;
- Sistema de cobertura: telha metálica com sanduíche em poliuretano + engradamento em perfis formados a frio;
- Sistema estrutural: perfis laminados + laje com fôrma metálica incorporada.

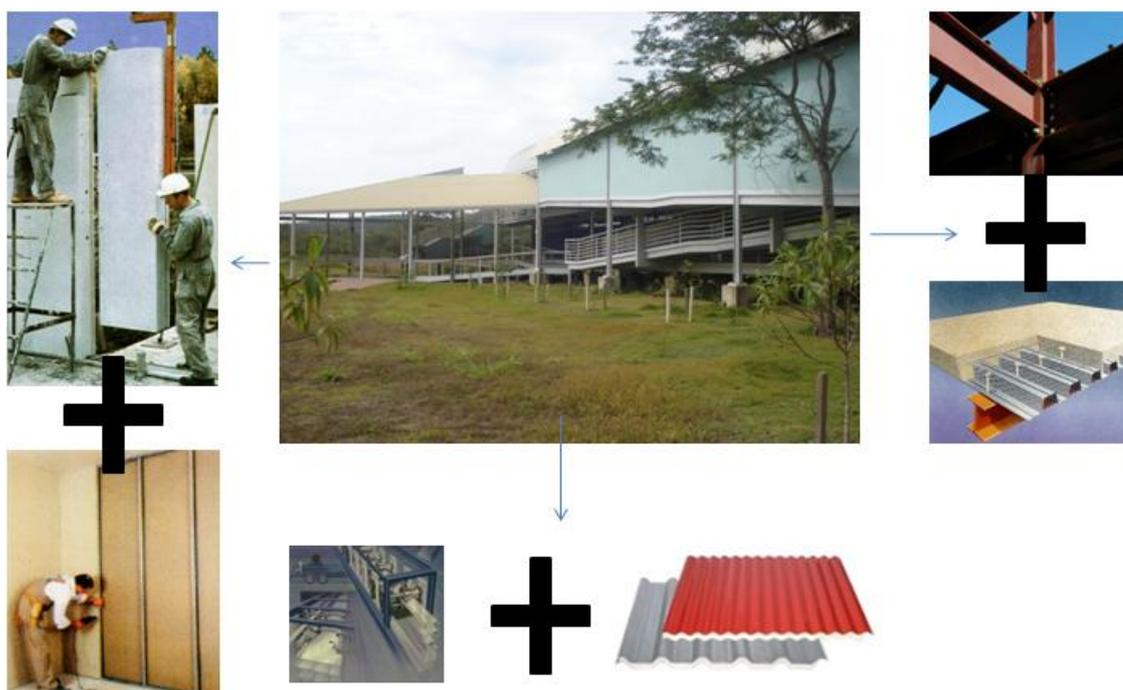


FIGURA 3.6- Sistemas construtivos originais do Edifício Piau

A fronteira deste estudo também acompanha as definições de vida útil de limites previstos da ABNT NBR 15.575:2008. De acordo com essa norma (TAB. 3.1), os sistemas estrutural e de vedação vertical externa devem possuir uma vida útil mínima de 40 anos, mas os sistemas de vedação vertical interna e de cobertura devem possuir vida útil mínima de 20 anos. Dessa forma, serão previstos dois ciclos de vida de vedação vertical interna e de cobertura para se obter o resultado compatível do sistema construtivo como um todo. A avaliação será feita a partir da etapa de produção dos componentes, passando pelo uso e operação e finalizando no descarte da edificação.

TABELA 3.1: Vida útil de projeto prevista na NBR 15575.

Fonte: ABNT NBR 15575:2008

Sistema	VUP mínima (anos)
Estrutura	≥ 40
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20

Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

3.2 Métodos para a etapa elaboração do organograma

O objetivo do organograma é compreender as especificidades dos sistemas construtivos e os processos geradores de impacto ambiental. Para tal, o edifício descrito no ítem 3.1 é analisado como edifício em uso, que é desmembrado em dois caminhos: o histórico dos sistemas construtivos e o desmonte do mesmo. Percorre-se o passado e o futuro do edifício. O desmembramento na origem do edifício e no seu destino final apresenta os componentes e os processos ocorridos em cada uma das etapas.

As análises são qualitativas e tem com o objetivo fundamental de entendimento do processo de impacto ambiental do sistema construtivo. Nessa análise a metodologia proposta por LIMA (2006) é referenciada, através da pontuação qualitativa visual do bom, regular e ruim.

3.3 Materiais para ACV do Sistema Estrutural em Aço

Após a etapa de entendimento do sistema construtivo, passa-se à elaboração da MAASC que considera as lacunas de informações brasileiras e a possibilidade de construção de dados de inventários de ciclo de vida. Essa metodologia é apresentada no capítulo a seguir e sua aplicação foi feita em um sistema construtivo estruturado em aço. Considerando o estágio atual brasileiro, onde existem poucos dados inventariados, optou-se por utilizar um sistema construtivo com pouca variabilidade de materiais, além da facilidade de acesso às informações de insumos e emissões desse material. Escolheu-se um sistema estrutural componente de uma edificação, a partir do qual foram levantados dados de materiais e processos necessários para a fabricação do aço e de seus produtos beneficiados, além de considerar os processos específicos que foram utilizados na

edificação selecionada, o uso e manutenção e desmonte do sistema. Para tal, recorreu-se aos relatórios ambientais anuais e às entrevistas feitas em empresas siderúrgicas e beneficiadoras do aço, às empresas de transporte, aos profissionais responsáveis pela obra, bem como a documentação de obra, às recomendações técnicas para manutenção dos componentes no uso e ao levantamento de dados em empresas de desmonte de estruturas em aço.

Após a ACV do sistema estrutural em aço utilizando a metodologia proposta, foram realizadas análises através dos fluxogramas de cargas ambientais do *Simapro*. O objetivo é identificar os processos de maior impacto ambiental no sistema. Para tal, além da análise do ciclo de vida completo dos sistemas construtivos, outras análises foram separadas por etapas: a primeira, fabricação e desmonte; a segunda, etapas de obra, uso e manutenção. Essa separação tem como objetivo identificar: i) as compensações dos impactos da fabricação dos componentes nos destinos finais dos mesmos; e ii) processos mais impactantes de responsabilidade da indústria. Da mesma forma, a análise das etapas de obra, uso e manutenção têm como objetivo identificar os maiores impactos ambientais provenientes das atividades da construção civil.

Dessa forma, foi avaliado um Sistema Estrutural em Aço de um edifício localizado na cidade de Belo Horizonte. A unidade funcional é o sistema de função estrutural de um edifício, que consiste em pilares e vigas laminadas em aço sem pintura ou proteção contra incêndio e deck metálico que incorpora a laje em concreto. A laje não faz parte do escopo desta ACV, apenas o deck metálico. Quanto a esse sistema estrutural, ele é parte de um edifício de 5.400 m² localizado em Belo Horizonte. A limitação temporal considerada se baseia na durabilidade mínima prevista pela NBR 15575, que é de 40 anos. As etapas avaliadas são: Fabricação da Estrutura, Obra, Uso e Manutenção e Desmonte e Descarte do Sistema Estrutural. No capítulo 5, o escopo dessa avaliação será apresentado com detalhes, em consonância com a metodologia padrão proposta dentro do SICV (Sistema de Inventários do Ciclo de Vida Brasil) (METODOLOGIA, 2009).

Como resultados desejados, deseja-se especificar o impacto ambiental em cada uma das

seguintes etapas do ciclo de vida do sistema construtivo: fabricação e beneficiamento dos materiais componentes, obra, uso e manutenção e desmonte do edifício. Para tal, foram organizados os lançamentos de dados nesse software, identificando as nomenclaturas do *software Simapro* e as tipologias de dados para obtenção do resultado desejado.

Além de separar a análise por etapa, foi necessário definir as categorias de AICV que consistiriam nos resultados finais da ACV. As mesmas foram selecionadas a partir do levantamento das categorias mais frequentes em trabalhos de ACV na construção civil, apresentados na revisão bibliográfica, indicando categorias mais apropriadas para a América Latina e o Brasil. Quanto à ponderação dos impactos, não houve um estudo específico, mantendo-se as ponderações padrões de cada um dos softwares. A TAB. 3.2 apresenta as categorias de impacto utilizadas por autores e disponíveis nos softwares que foram contemplados na revisão bibliográfica. Em grifo estão as categorias de maior frequência.

TABELA 3.2 – Categorias de impacto apresentados na Revisão Bibliográfica.

BEES	<i>Athena Impact Estimator</i>	TEAM
<u>Acidificação;</u> <u>Poluentes no ar;</u> Toxidade ecológica; <u>Eutrofização;</u> Depleção de combustíveis fósseis; <u>Aquecimento global;</u> Alteração do habitat; Saúde humana; Qualidade do ar; <u>Depleção do ozônio estratosférico;</u> Água imprópria.	Energia incorporada; <u>Potencial de aquecimento global;</u> Esgotamento de recursos; <u>Poluição do ar;</u> Poluição da água.	Consumo de recursos; Energia e água; Geração de resíduos; Consumo de água; <u>Poluição do ar;</u> <u>Potencial de aquecimento global.</u>

TABELA 3.1 – Categorias de impacto apresentados na Revisão Bibliográfica.
(continuação)

AusLCI	HKEnvironmental	BRAGANÇA et al.
Esgotamento de recursos naturais; Uso de água; Mudança climática; Poluentes que afetam a saúde humana; Uso do solo.	<u>Energia incorporada;</u> Esgotamento de recursos naturais; Consumo de água; Resíduo; <u>Potencial de aquecimento global;</u> <u>Acidificação;</u> <u>Depleção de ozônio estratosférico;</u> <u>Toxicidade humana;</u> Ecotoxicidade; Custos iniciais de manutenção e de demolição.	Depleção de recursos abióticos; <u>Potencial de aquecimento global;</u> <u>Depleção do ozônio estratosférico;</u> <u>Acidificação;</u> <u>Eutrofização;</u> <u>Formação fotoquímica de ozônio;</u> Energia embutida não renovável; Energia embutida renovável.
BECALLI et al. (2008)	GOEDKOOOP (2005b)	SOUZA et al. (2007)
<u>Potencial de aquecimento global;</u> <u>Depleção de ozônio estratosférico;</u> Formação fotoquímica de ozônio; <u>Acidificação e eutrofização.</u>	<u>Mudanças no uso do solo;</u> Efeitos de salinização devido à irrigação e a drenagem de minérios; Erosão; Extração de água de rios e solos; Diminuição da qualidade de solos devido à falta de fertilização; Os impactos de substâncias	<u>Mudança climática;</u> <u>Depleção de ozônio estratosférico;</u> Diminuição de recursos abióticos; <u>Acidificação;</u> <u>Eutrofização;</u> <u>Formação fotoquímica de ozônio;</u> <u>Ecotoxicidade;</u> Toxicidade humana;

	orgânicas de degradação rápida em água.	Consumo de água; <i>Uso do solo;</i> Disposição de resíduos.
--	---	--

Dessa forma, as categorias de impacto utilizadas na segunda etapa do trabalho são:

- a. Mudança climática;
- b. Depleção de ozônio estratosférico;
- c. Acidificação;
- d. Eutrofização;
- e. Uso do solo;
- f. Ecotoxicidade.

4. RESULTADOS

A fim de compreender as especificidades de um sistema construtivo e os possíveis impactos ambientais ao longo da vida desse sistema, um organograma é apresentado exclusivamente para este trabalho, sintetizando um escopo de necessidades da construção civil. O objetivo é definir uma metodologia que auxilie no desenvolvimento de uma ferramenta de ACV na construção civil brasileira, considerando a criação gradativa de uma base de dados nacional. A premissa para esse organograma era que fosse capaz de expressar cada etapa construtiva e desmembrar o produto em componentes, com base na ABNT NBR ISO 14044:2009.

A análise se inicia no edifício concebido, o qual deve ser avaliado sob dois caminhos: o histórico dos sistemas construtivos que o compõem e o desmonte deste edifício (FIG. 4.1). Dessa forma, o edifício é desmembrado em sistemas construtivos e em componentes provenientes do desmonte do edifício, ou seja, percorre-se seu passado e futuro.

No histórico, ou “berço” do edifício, cada um dos sistemas construtivos é formado por componentes provenientes de processos. Esses são processos de fabricação, transporte, montagem e descarte – indicados na FIG. 4.1 como “Processo yn”. Eles necessitam, cada um, de recursos (*inputs*) e descartam emissões (*outputs*). Tais recursos e emissões são ligados ao processo por setas tracejadas que indicam a quantidade utilizada (pouco,

razoável, muito) e a qualidade do impacto que será classificada conforme a metodologia de LIMA, bom, regular e ruim (verde, amarelo e vermelho). Em cada processo, identificam-se, através de setas de entradas e saídas, as emissões e utilização de recursos, sejam estes materiais ou energéticos.

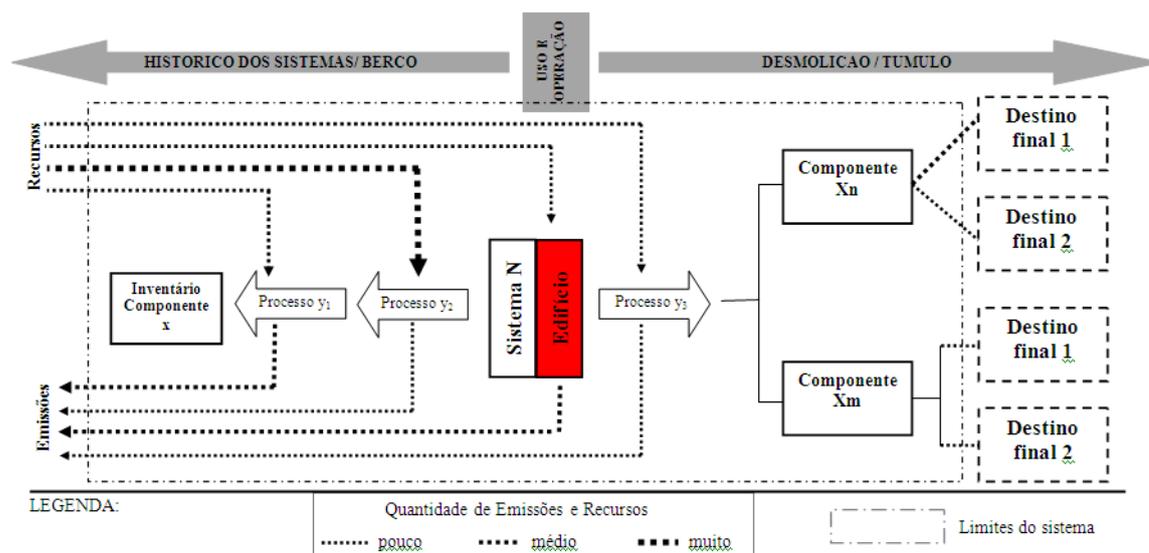


FIGURA 4.1 – Modelo de metodologia baseado em ACV – nova proposição.

Ao observar a FIG. 4. 1, percebe-se que, no sentido do histórico do sistema construtivo, o último quadro do organograma remete ao inventário do Componente X, ou seja, o inventário de um material construtivo. A partir desse ponto pode-se utilizar bancos de dados de inventários de ciclo de vida para se analisar os materiais construtivos que compõem o sistema. Neste ensaio, optou-se pelos dados levantados para a avaliação de LIMA (2006) para testar a proposta qualitativamente. Assim será utilizado o Edifício Piau com seus sistemas construtivos originais.

Na etapa de uso e operação, deverão ser avaliados quesitos relacionados à manutenibilidade, à demanda de energia e água para uso dos sistemas construtivos e à emissão de poluentes no ar prejudiciais à saúde humana. Na fase de desmonte, ou “túmulo”, verificam-se as possibilidades de desmontagem do edifício em componentes e o destino final de cada um deles. Esses componentes podem, por sua vez, se desmembrar em dois destinos simultâneos ou possuir duas opções de destino. Na FIG.

4.1 a representação das linhas que saem do “Componente X_n” indica que esse ele pode ter o “destino final 1” ou o “destino final 2”. No caso do “Componente X_m”, a linha que sai desse quadro indica que o componente teve o “destino final 1” e o “destino final 2”, simultaneamente.

O resultado dessa metodologia proposta é um organograma onde as quantidades das emissões são indicadas em espessuras de linhas diferentes, conforme explicitado na legenda da FIG. 4.1. As setas mais espessas indicam maior impacto e menos espessas menores impactos. Assim, o Edifício Piau foi analisado partindo do edifício concebido, visando seu histórico, o uso e operação e seu descarte, e desmembrado-o em Sistema Estrutural, Sistema de Vedação Externa, Sistema de Vedação Interna e Sistema de Cobertura. Cada um desses sistemas dará origem a um histórico e a um desmonte, conforme aponta a FIG. 4.2.

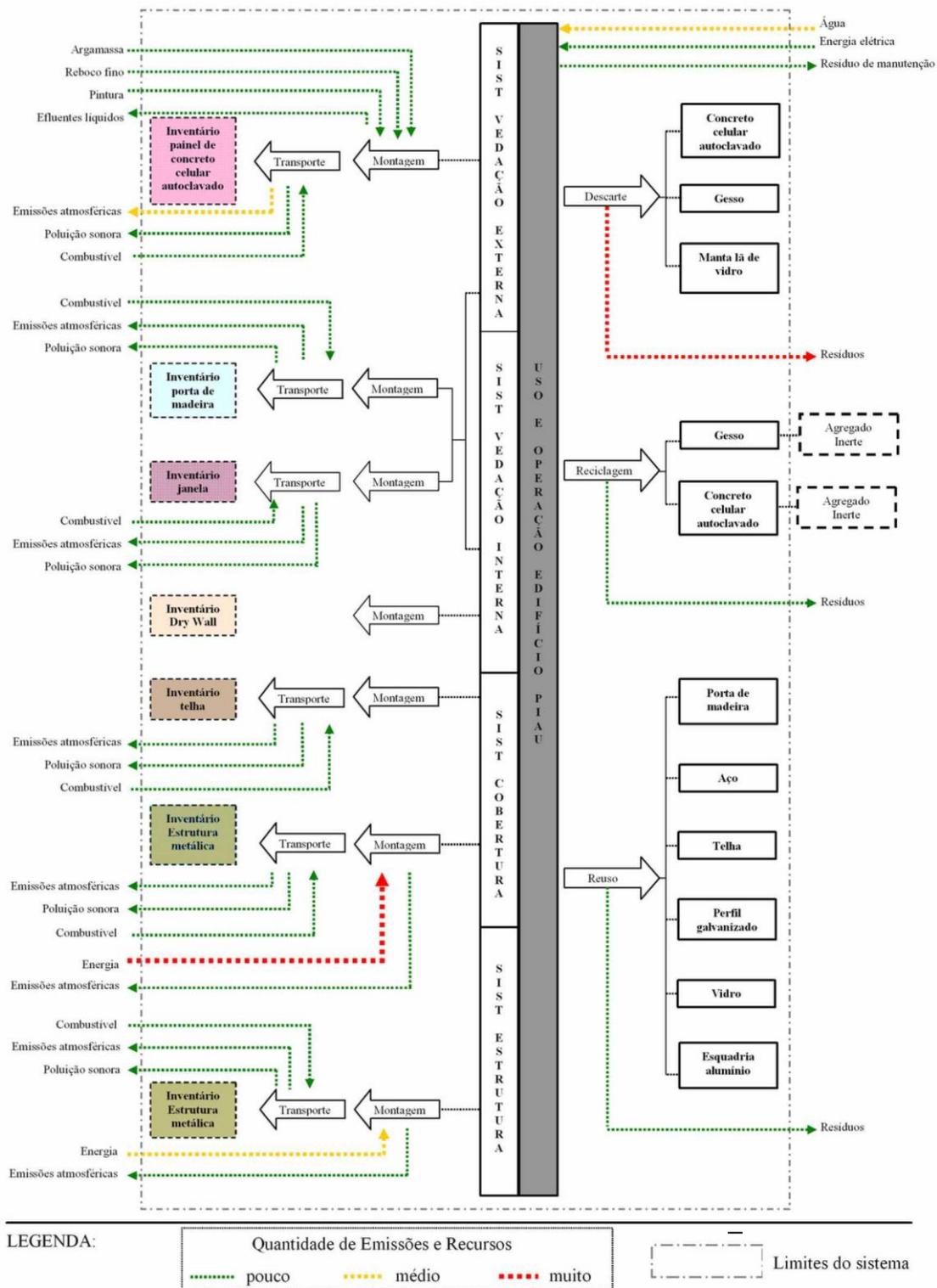


FIGURA 4.2 – Organograma geral do Edifício Piau

Apesar de essa avaliação trazer resultados de impactos qualitativos, sem identificação de categorias ou quantificação de insumos e emissões, ela serve de indicativo de como se aplicar a ACV na construção civil brasileira em um processo de construção de inventário de ciclo de vida brasileiros.

O organograma indica quais são as informações a serem levantadas nos processos de construção, uso/operação e demolição de um sistema construtivo. Não considera os inventários, já que eles não existem, e trata de impactos inerentes à construção civil que são os processos de obra, uso e desmonte.

A metodologia apresentada na próxima seção utiliza o *software Simapro* e considera as informações demandadas por este organograma. Levando em conta a deficiência de comunicação dos resultados em função das etapas do ciclo de vida, a metodologia desenvolvida trata de parametrizar as entradas de informação no *software* para se obter a formatação de resultados esperados.

4.1 Metodologia de Avaliação Ambiental de Sistemas Construtivos – MAASC.

Partindo dos estudos sobre os possíveis *softwares* baseados em ACV para utilização na construção civil, selecionou-se o *software Simapro* pela sua flexibilidade de inserção de dados, pelos inventários e pelas ferramentas de avaliação de impacto disponíveis. Com isso, esse *software* foi utilizado como base de uma metodologia de avaliação de ciclo de vida de sistemas construtivos. Para tal, parte-se de duas premissas:

1. Quando os materiais e processos são lançados de uma forma convencional, o resultado é a contribuição do impacto de cada um desses ao longo do seu ciclo de vida (FIG. 4.3). Isso permite verificar qual material ou processo é mais impactante no sistema, mas não considera que cada um deles foi utilizado em quantidades distintas, o que não permite concluir se geram o maior impacto ambiental ou se foi usado em maior quantidade no ciclo de vida do edifício.

Além disso, o resultado apresentado pelo *software* não apresenta o resultado por etapa de ciclo de vida, o que dificulta verificar se o impacto é na produção dos materiais, nos processos de montagem, no uso ou no descarte. Isso contribui pouco para o processo de melhoria do sistema, pois não apresenta diretrizes de minimização do impacto ambiental.

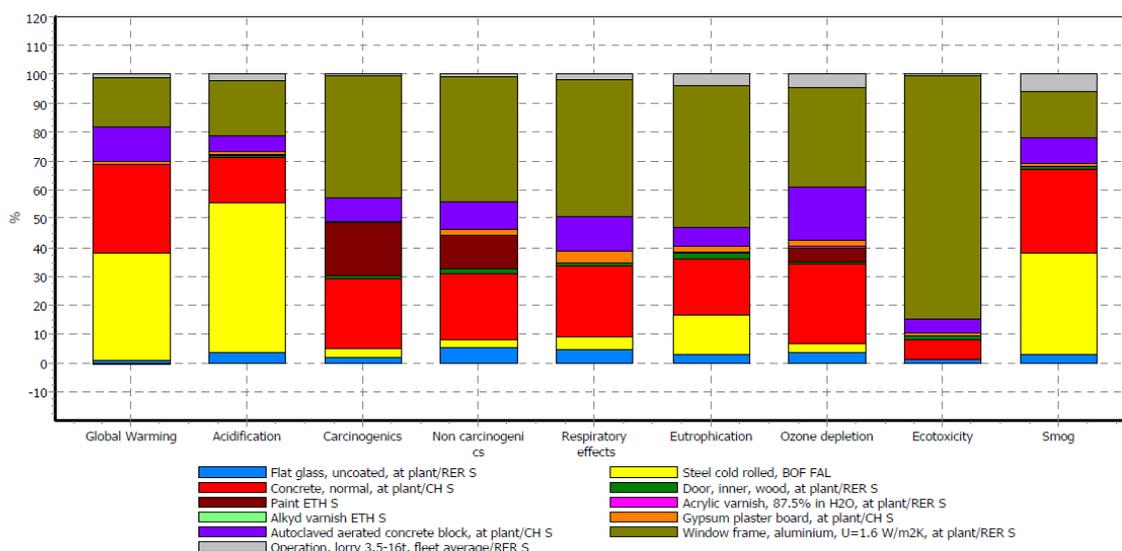


FIGURA 4.3 – Resultado hipotético de ACV de sistema construtivo por impacto de cada componente.

2. Não existem informações de materiais e procedimentos suficientes no Brasil para comparar o resultado de ACVs de sistemas construtivos distintos a fim de selecioná-los a partir deste critério.

Dessa forma, a metodologia aqui proposta utiliza o *Simapro*, ordenando e criando um método de entrada de materiais, ou seja, parametrizando os modos de entrada do sistema. As informações a serem lançadas são identificadas através do organograma proposto nesta pesquisa (FIG. 4.1). Para propor a metodologia foi necessário identificar as possibilidades do *software* quanto aos dados disponibilizados e quanto à inserção de novas informações no mesmo. A FIG. 4.4 apresenta parte da estrutura do *software*, bem como as possibilidades de inserção de novos materiais, referências internas e entendimento de cada uma das etapas e dados inventariados. As caixas em azul são entradas existentes no *Simapro*. A numeração existente no alto das caixas de materiais,

processos e resíduos/disposição final, são repetidas entre parênteses nas fases do produto (n). Essa simbologia foi usada para explicitar a origem dos materiais a serem cadastrados em cada etapa.

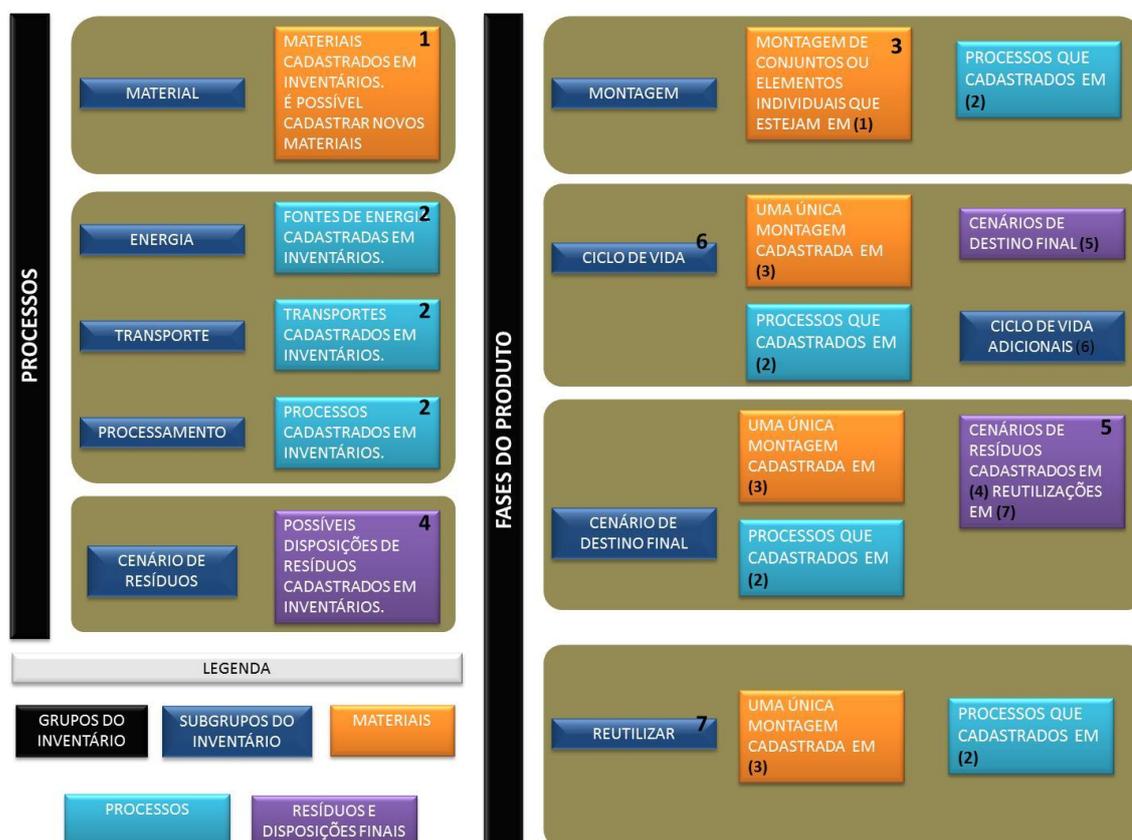


FIGURA 4.4 - Parte da estrutura de lançamento de dados do *Simapro*

Os materiais que serão reutilizados (“reutilizar”) ou enviados a algum outro “cenário de destino final”, por exemplo, são identificados com (3) entre parênteses. Isso significa que devem estar previamente cadastrados na “montagem”, que é a caixa que possui o número 3 como identificação. A “montagem”, por sua vez, referencia entre parênteses o número 1, ou seja, o material deve existir em “processos”, no subgrupo “material”. Sob a ótica do ciclo de vida, o material (existente no banco de dados), vai constituir uma montagem, que passará por processos em seu “ciclo de vida” e que poderá ser reutilizado (“reutilizar”) ou terá outros “cenários de destino final”.

Entretanto, o resultado apresentado pelo *software* é a contribuição dos componentes da montagem (3) no impacto ambiental total do produto ou do sistema ao longo do ciclo de vida. Após essa compreensão da estrutura do *Simapro*, foi possível propor formas de inserção de dados com respectivas nomenclaturas a fim de obter um resultado de impacto ambiental por etapa de ciclo vida. As etapas propostas para a ACV de um sistema construtivo são (FIG. 4.5):



FIGURA 4. 5 – Etapas do Ciclo de Vida para Sistemas Construtivos

Em função da estrutura do *Simapro* e das etapas do sistema construtivo em que se deseja apresentar os impactos ambientais, foram feitas relações de alocação entre essas etapas e os grupos e subgrupos do *software*. Tais relações são resumidas na FIG. 4.6 e referenciadas através dos números entre parênteses no texto. O resultado é uma customização do *Simapro*, a Metodologia de Avaliação Ambiental de Sistemas Construtivos (MAASC), e os resultados poderão ser dados em três formas:

- Ao longo de todo o ciclo de vida do edifício (fabricação, obra, uso/manutenção e destino final);
- Através das etapas de fabricação e destino final. O objetivo é gerar um resultado em que destinações finais de reciclagem, e/ou de reutilização, possam compensar o impacto da fabricação;
- Através das etapas de obra e uso do sistema construtivo. Os impactos ambientais dessa etapa são de responsabilidade exclusiva dos setores da construção civil, o que não ocorre nos dois resultados anteriores.

A MAASC é apresentada no quadro da FIG. 4.6 e descrita passo a passo ao final do texto a seguir.

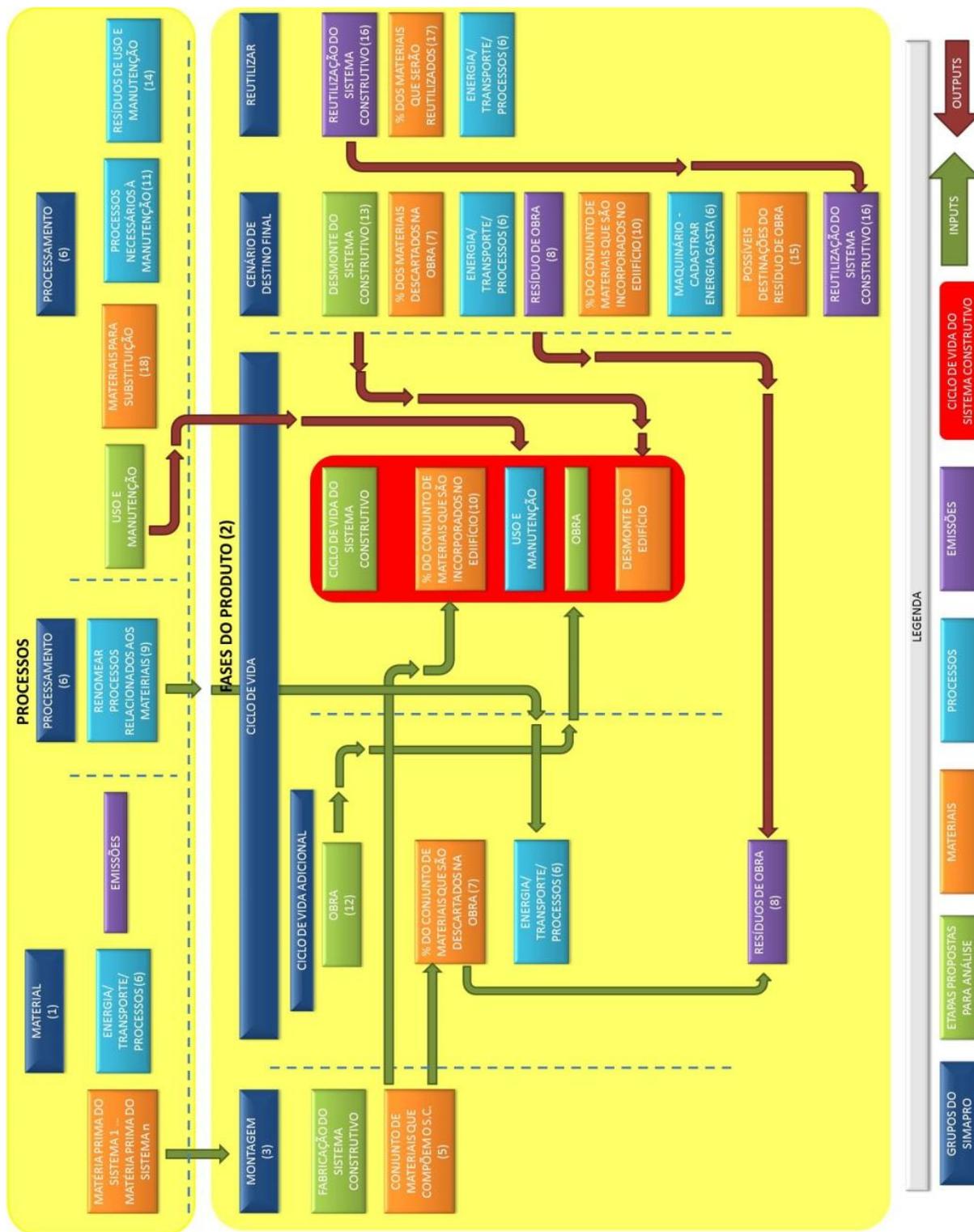


FIGURA 4.6 – Metodologia de Avaliação Ambiental de Sistemas Construtivos (MAASC), com uso do *Simapro*

Inicialmente, devem ser cadastrados materiais e processos (1). Esse cadastro é feito anterior às “fases do produto”, em valores unitários de massa, dimensões, etc. Dessa forma, cada um dos materiais é composto pela sua matéria-prima, seus processos de energia, de transporte, pelas suas emissões e resíduos e pela sua destinação final.

A “Montagem” (3) corresponde ao conjunto de materiais que serão utilizados no sistema construtivo. Nesta etapa são contabilizados apenas os componentes ou materiais até a etapa de saída da fábrica, sem transporte até a obra ou outros processos. O histórico de fabricação de cada um dos componentes foi cadastrado previamente, conforme já foi dito (processos/ materiais (1)). Apesar de ser permitido o cadastro de processos, serão cadastrados apenas materiais.

Terminada a etapa de montagem (3) segue-se para a fase de “Ciclo de Vida”, para onde confluem todos os processos e materiais (*inputs*) e todas as emissões (*outputs*). Dessa forma, tem-se:

- Ciclo de Vida: compreende a etapa em uso do sistema construtivo. Como o *software* aceita o cadastro de apenas uma montagem para cada ciclo de vida, é necessário que nesta etapa tenha sido cadastrado o conjunto de todos os materiais como uma única montagem (5). É possível cadastrar processos (6). Visando o resultado desejado, são criados dois ciclos de vida, pois a obra (12) é vista como uma etapa que tem um ciclo independente – gasto de material, descarte, processos e fim de etapa – antes que se inicie o uso do sistema construtivo:
 - Obra (12): esta etapa é cadastrada como um “ciclo de vida adicional” (nomenclatura do *Simapro*) por ser parte da vida do sistema construtivo, mas não necessariamente do momento em uso. É contabilizada a porcentagem de material que será descartada durante a obra (7) e os processos de transporte e construção, dentre outros. Essa mesma porcentagem de materiais referentes à montagem será repetida no “cenário de destino final”, com a nomenclatura de “resíduo de obra” (8).

Para permitir a distinção entre os processos relacionados a cada componente é necessário que os mesmos sejam copiados e renomeados paralelamente (em “processamento”) relacionando estes processos ao componente (9).

- Ciclo de Vida do Sistema Construtivo no Edifício: é cadastrada no *software* como mais uma das etapas, mas na verdade corresponde ao resultado do processo, desde a produção dos materiais até a demolição. Nesta etapa, são cadastrados: os materiais incorporados ao edifício, que não foram descartados durante a obra (10); os procedimentos de manutenção durante a vida útil do edifício (11); a etapa de obra que contribui para o impacto total do sistema construtivo (12) e o desmonte do mesmo (13).

Paralelamente devem-se cadastrar os procedimentos de manutenção (11) fora das “fases do produto” em “processos”, seguindo a mesma lógica em que foram cadastrados os materiais componentes do sistema construtivo. A manutenção é entendida como um tipo de “processamento”, onde se podem cadastrar materiais de substituição (18), procedimentos (11), possíveis “resíduos do uso e da manutenção” (14) como emissões no ar, na água, etc .

- Cenário de Destino Final: são cadastrados materiais descartados na fase de obra – resíduo de obra (8) – e o desmonte do sistema construtivo (13). O procedimento para os dois casos é o mesmo: referencia-se a montagem que será desmontada (no caso o conjunto de componentes que foi cadastrado) com a porcentagem que foi incorporada ao edifício (10) (no caso do desmonte do sistema construtivo) e que foi descartada na obra (7) (no caso do resíduo de obra) (8). São cadastrados processos de desmontagens (energia, transporte, processamentos) (6) e os cenários de resíduos (15). para finalizar a etapa de destinação final é preciso cadastrar a reutilização do sistema, que foi inserida conforme procedimento descrito a seguir.

Caso parte do desmonte do sistema construtivo for reutilizado, deve-se cadastrar em “Reutilizar” (16), a partir da parcela da montagem que será reutilizada (17) e os processos para essa reutilização (energia, transporte, processamentos) (6).

Para obter o resultado final do impacto ambiental, basta utilizar a ferramenta “analisar” para o “Ciclo de Vida do Sistema Construtivo”, que está dentro do grupo “Ciclo de Vida”. Com essa entrada, é possível visualizar os resultados de impacto por etapa, assim como é apresentado na FIG. 4.7 (resultado hipotético). As etapas avaliadas são: Fabricação (em vermelho), Obra (em azul), Manutenção (em verde) e Desmonte (em amarelo). Hipoteticamente foi considerado que 70% do material proveniente do desmonte tenha sido reciclado. Neste caso, observou-se que o desmonte do edifício e sua destinação para a reciclagem apresentam resultados negativos em termos de porcentagem. Isso indica que o potencial de reciclagem gera créditos na fabricação de um novo sistema.

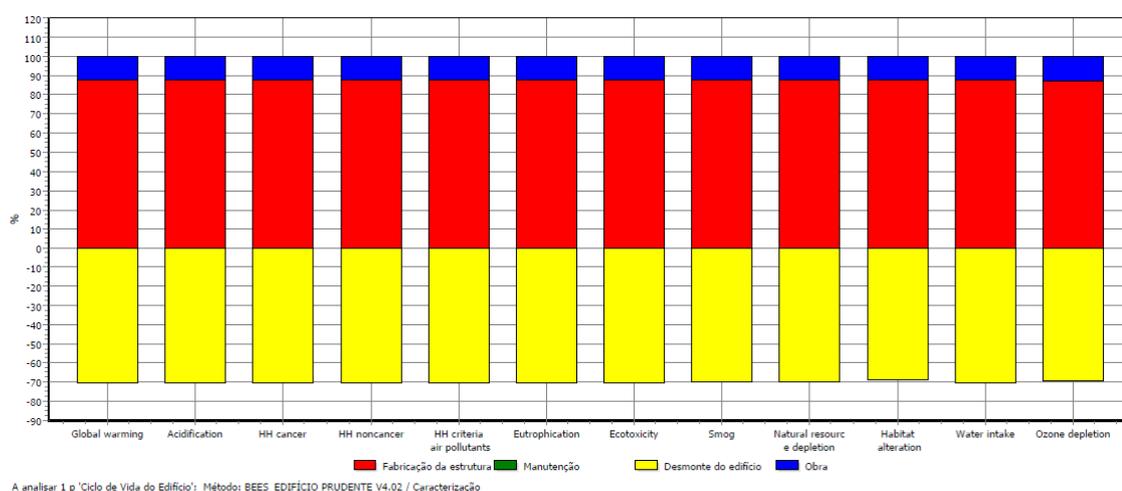


FIGURA 4.7– Resultado da ACV para um sistema construtivo (dados hipotéticos)

Conforme já mencionado no capítulo anterior, é possível verificar os maiores contribuidores por categorias de impacto. Como no exemplo, em que a etapa de fabricação possui maior peso nos impactos ambientais, o fluxograma dessa etapa foi verificado para o impacto “potencial de aquecimento global” através da “análise” (ferramenta disponível no *software*) dessa etapa. Por meio da verificação do fluxograma da etapa de fabricação outras observações podem ser feitas (FIG. 4.8):

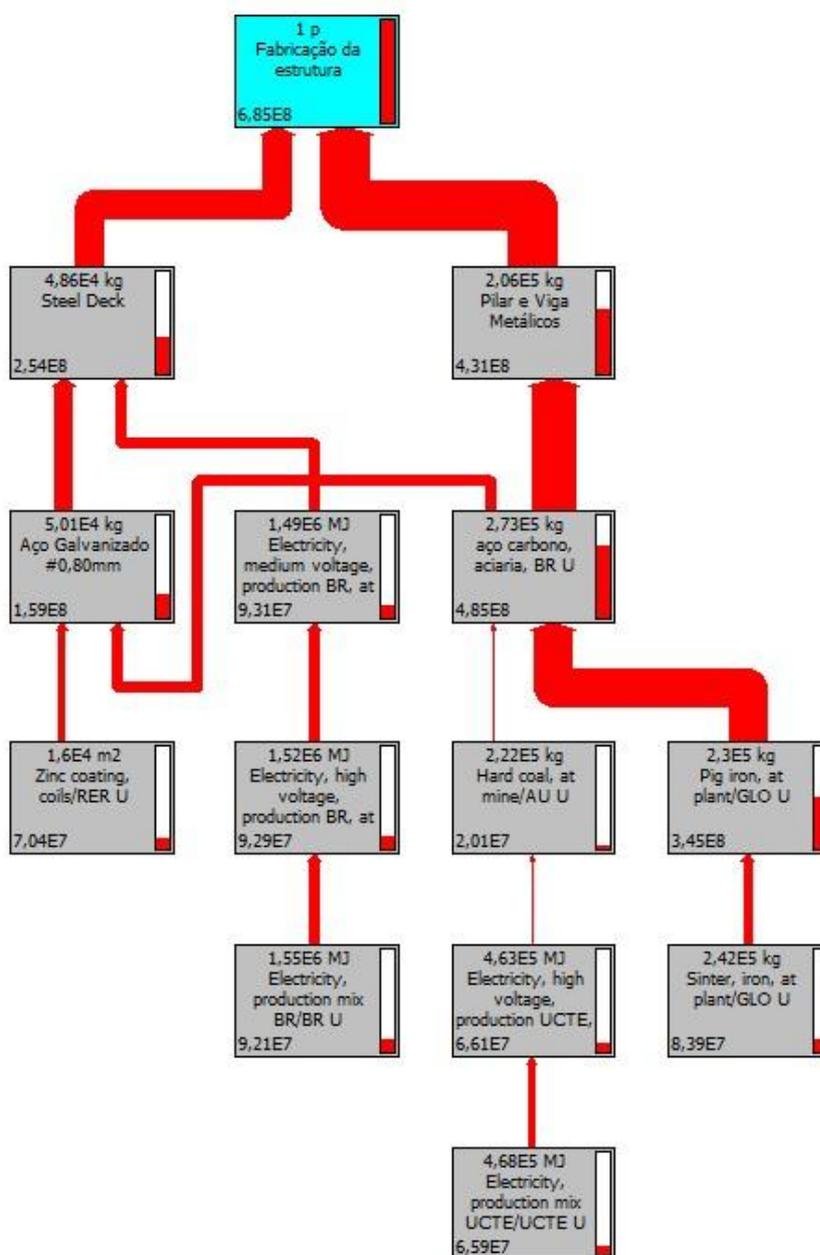


FIGURA 4.8– Fluxograma da etapa de fabricação.

A partir da análise do fluxograma é possível perceber qual processo ou material mais colaborou para o impacto na etapa de fabricação. Com um olhar mais técnico, podem-se propor alterações nessa etapa a fim de minimizar o impacto ambiental do sistema. Neste exemplo, nota-se que a fabricação do ferro gusa (*pig iron*), partindo da sinterização, é a

etapa mais impactante. Assim, os esforços de melhorias ambientais devem se voltar para esta etapa do processo.

Resumidamente deve-se seguir os seguintes passos para a análise do ciclo de vida completo do sistema construtivo:

- 1-** Cadastrar todos os materiais (“Material” (1)) e processos (“Processamento” (6)) que serão utilizados no ciclo de vida do sistema construtivo. Esse cadastro é feito em valores unitários de massa, dimensões, etc. Cada um dos materiais é composto pela sua matéria-prima, seus processos de energia, de transporte, pelas suas emissões e resíduos e pela sua destinação final.
- 2-** Criar um processo em ”Processamento” (6) denominado “Uso e Manutenção” que inclui os Materiais de Substituição (18), Processos Necessários à Manutenção (11) e os resíduos de uso e manutenção (14). Cada um desses (18), (11) e (14) deve ser cadastrado em “Processamento” (6).
- 3-** Cadastrar na caixa “Montagem” (3) todo conjunto de materiais utilizados no Sistema Construtivo. Esses materiais são os que foram previamente cadastrados na primeira etapa.
- 4-** Nomear o Ciclo de Vida como “Ciclo de Vida do Sistema Construtivo”.
- 5-** Criar o Ciclo de Vida Adicional “Obra” (12), dentro do “Ciclo de Vida do Sistema Construtivo”.
- 6-** Cadastrar em “Obra” (12) a porcentagem dos materiais (“Material” (1)) que serão descartados na obra.
- 7-** Cadastrar em “Obra” (12) e os processos (“Processamento” (6)) inerentes a esta etapa.
- 8-** Cadastrar um Cenário de Destino Final denominado “Desmonte do Sistema Construtivo” (13).
- 9-** No “Desmonte do Sistema Construtivo” (13), cadastrar um destino final denominado “Resíduo de Obra” (8), no qual será cadastrada a porcentagem de materiais descartados na obra (7).
- 10-** Cadastrar em “Obra” (12) os “Resíduos de Obra” (8).

- 11-** Cadastrar em “Reutilizar” a porcentagem dos materiais possíveis de reutilização (17) e os processos necessários para essa reutilização (6). Nomear como “Reutilização do Sistema Construtivo” (16).
- 12-** Voltando ao “Desmonte do Sistema Construtivo” (13), cadastrar a porcentagem de materiais incorporados no edifício (10) e o “Maquinário e Energia Gasta” (6) relacionados ao desmonte. Relacionar a “Reutilização do Sistema Construtivo” (16).
- 13-** Cadastrar em Ciclo de Vida do Sistema Construtivo, a porcentagem dos materiais que ficará incorporada ao edifício (10). Relacionar em processos o “Uso e Manutenção”, o Ciclo de Vida Adicional “Obra” (12) e o “Desmonte do Edifício” (13).
- 14-** Solicitar que o programa execute a AICV, previamente configurada de acordo com as categorias de impacto que se deseja avaliar.

Essa metodologia permite ainda que os limites do sistema sejam mudados, de modo a analisar somente os impactos da obra e do uso/manutenção, ou ainda analisar somente os materiais componentes do sistema. Esses processos são discriminados a seguir.

4.1.1 Avaliação do impacto dos materiais

Para analisar o impacto dos materiais, bem como seu potencial de reciclagem e reutilização, devem-se criar os ciclos de vida: “Fabricação e Descarte de materiais” e “Desperdício de Obra”.

A fabricação e descarte de materiais conterà a montagem do conjunto da estrutura (5), os transportes de cada um dos componentes (6), o cenário de resíduos (8) de desmonte do edifício e, como ciclo de vida adicional, o “desperdício da obra” (12).

No “desperdício de obra” (12) são cadastrados a porcentagem de material que será descartada na obra (7), os processos de transporte (6) desses descartes até sua destinação final e o cenário de destino final (8). A diferença entre o desperdício de obra e a obra, constante na ACV completa são os processos de montagem durante a obra. O

“resíduo de obra” (8) é um dos cenários cadastrado na ACV completa como cenário de destino final (FIG. 4.9).

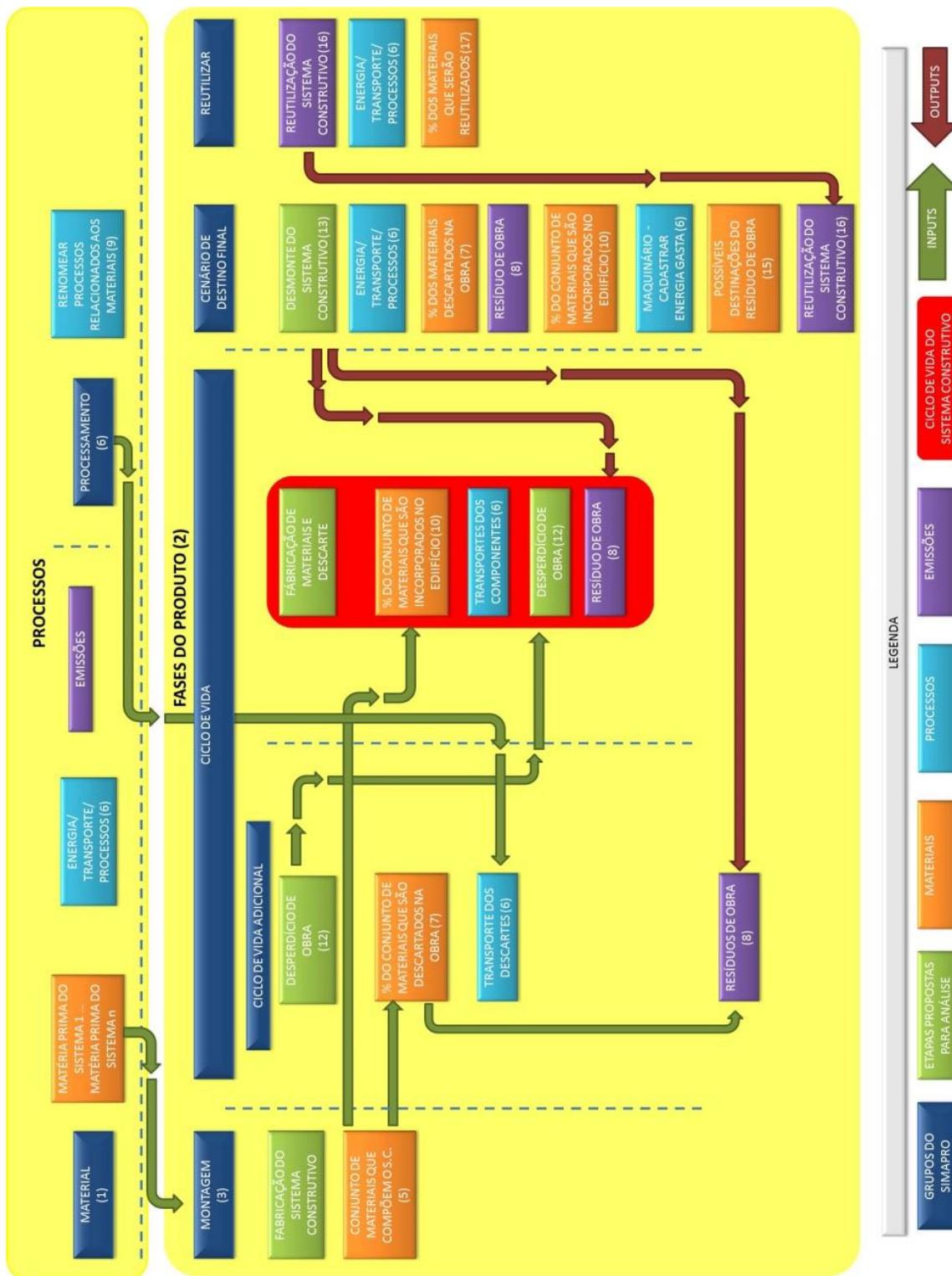


FIGURA 4.9 – MAASC para a análise do impacto dos Materiais.

Para se obter o resultado final utiliza-se a ferramenta “analisar” para “Fabricação dos materiais e descarte”, que está dentro do grupo “Ciclo de Vida”.

Segue o passo a passo da análise do impacto dos materiais:

- 1- Cadastrar todos os materiais (“Material” (1)) e processos (“Processamento” (6)) que serão utilizados no ciclo de vida do sistema construtivo. Esse cadastro é feito em valores unitários de massa, dimensões, etc. Cada um dos materiais é composto pela sua matéria-prima, seus processos de energia, de transporte, pelas suas emissões e resíduos e pela sua destinação final.
- 2- Cadastrar na caixa “Montagem” (3) todo conjunto de materiais utilizados no Sistema Construtivo e nomeá-lo como “Fabricação do Sistema Construtivo”.
- 3- Nomear o Ciclo de Vida como “Ciclo de Vida do Sistema Construtivo”.
- 4- Criar o Ciclo de Vida Adicional “Obra” (12), dentro do “Ciclo de Vida do Sistema Construtivo”.
- 5- Cadastrar em “Obra” (12) a porcentagem dos materiais (“Material” (1)) que serão descartados na obra.
- 6- Cadastrar um Cenário de Destino Final denominado “Desmonte do Sistema Construtivo” (13).
- 7- No “Desmonte do Sistema Construtivo” (13), cadastrar um destino final denominado “Resíduo de Obra” (8), no qual serão cadastrados a porcentagem de materiais descartados na obra (7).
- 8- Cadastrar em “Obra” (12) os “Resíduos de Obra” (8).
- 9- Cadastrar em “Reutilizar” a porcentagem dos materiais possíveis de reutilização (17) e os processos necessários para essa reutilização (6). Nomear como “Reutilização do Sistema Construtivo” (16).
- 10- Voltando ao “Desmonte do Sistema Construtivo” (13), cadastrar a porcentagem de materiais incorporados no edifício (10) e o “Maquinário e Energia Gasta” (6) relacionados ao desmonte. Relacionar a “Reutilização do Sistema Construtivo” (16).

11- Cadastrar em Ciclo de Vida do Sistema Construtivo, a porcentagem dos materiais que ficará incorporada ao edifício (10). Relacionar o Ciclo de Vida Adicional “Obra” (12) e o “Desmonte do Edifício” (13).

12- Solicitar que o programa execute a AICV, previamente configurada de acordo com as categorias de impacto que se deseja avaliar.

4.1.2 Avaliação do impacto dos processos inerentes ao sistema construtivo

Para avaliar o impacto ambiental dos processos que diferenciam o sistema construtivo faz-se a análise da etapa de obra e do uso e manutenção, sem os materiais.

A justificativa de se obter essa análise é a verificação de procedimentos mais impactantes e que possam ser minimizados pela própria construção civil, que são os processos e usos. No caso de materiais, as intervenções a serem feitas são de caráter da sua produção, que é de outra competência que não da arquitetura e da engenharia civil.

Para tanto, cadastra-se um novo ciclo de vida semelhante ao de obra, mas sem os materiais de montagem – Obra (12). Assim como a obra do ciclo de vida completo do sistema construtivo, são cadastrados processos de maquinários utilizados e o transporte de cada um dos materiais constituintes (6). A etapa de manutenção é a mesma dessa etapa no ciclo de vida completo, cadastrada em processos (6). É criado um ciclo de vida, “Obra e Manutenção”, que contém o processo de manutenção, e como ciclo de vida adicional a “Obra – sem material” (FIG. 4.10).

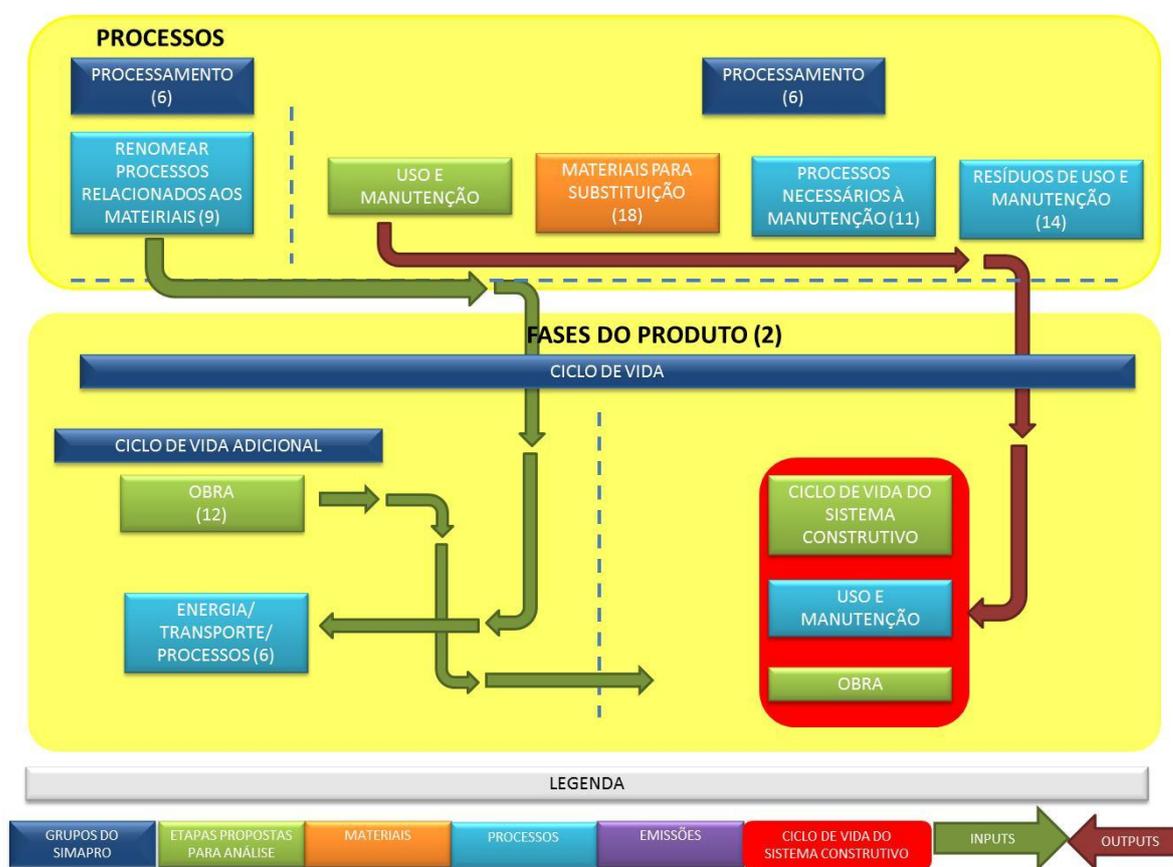


FIGURA 4.10 - MAASC para a análise do impacto de Obra e Uso e Manutenção.

Para se obter o resultado final utiliza-se a ferramenta “analisar” para o impacto “Obra e Manutenção”, que está dentro do grupo “Ciclo de Vida”. Esse processo está itenizado a seguir:

- 1- Cadastrar todos os processos (“Processamento” (6)) que serão utilizados no ciclo de vida do sistema construtivo. Esse cadastro é feito em valores unitários de massa, dimensões, etc. Cada um dos materiais é composto pela sua matéria-prima, seus processos de energia, de transporte, pelas suas emissões e resíduos e pela sua destinação final.
- 2- Criar um processo em ”Processamento” (6) denominado “Uso e Manutenção” que inclui os Materiais de Substituição (18), Processos Necessários à Manutenção (11) e os resíduos de uso e manutenção (14). Cada um desses (18), (11) e (14) deve ser cadastrado em “Processamento” (6).
- 3- Nomear o Ciclo de Vida como “Ciclo de Vida do Sistema Construtivo”.

- 4- Criar o Ciclo de Vida Adicional “Obra” (12), dentro do “Ciclo de Vida do Sistema Construtivo”.
- 5- Cadastrar em “Obra” (12) os processos (“Processamento” (6)) inerentes a esta etapa.
- 6- Relacionar em Ciclo de Vida do Sistema Construtivo, os processos o “Uso e Manutenção”, o Ciclo de Vida Adicional “Obra” (12).
- 7- Solicitar que o programa execute a AICV, previamente configurada de acordo com as categorias de impacto que se deseja avaliar.

4.1.3 Aplicação da metodologia – Sistema Estrutural em Aço

A fim de testar a metodologia foi levantada uma situação real: um sistema estrutural em aço, constituinte de um edifício comercial localizado em Belo Horizonte, MG, composto de pilares e vigas metálicos e deck metálico como fôrma incorporada para laje. O **objetivo principal** é a aplicação do método, mas como tarefa adicional, realizou-se o inventário de parte dos insumos e emissões brasileiras para a produção e beneficiamento do aço no Brasil.

Foram levantadas todas as informações possíveis de entradas e saídas ao longo do ciclo de vida, considerando o processo de produção do aço, transporte, beneficiamento de perfis para pilares, vigas e deck metálico, aplicação na obra, manutenção e destinação final. Como esses dados não existem na literatura brasileira, trata-se de uma contribuição inédita deste trabalho. A escolha desse sistema deve-se à redução de variedades de matérias-primas, se restringindo ao aço. Assim, foi possível concentrar a demanda de informações em uma siderurgia padrão, ou seja, uma única fábrica. O escopo é descrito a seguir, conforme recomendado pela norma ABNT NBR ISO 14040 (2001).

Unidade Funcional: o sistema analisado possui função estrutural de um edifício de 5.400 m², localizado na cidade de Belo Horizonte, MG. Consiste na estrutura de todo o edifício em pilares e vigas de perfis laminados e deck metálico da laje mista em forma

de aço incorporada. Os pilares e as vigas são constituídos de aço de alta resistência à corrosão, sem pintura ou proteção contra incêndio, e o deck metálico é de chapa galvanizada. O deck metálico tem a função de fôrma e armação positiva da laje do sistema estrutural. O concreto, constituinte da laje mista, não faz parte do escopo desta ACV.

Fronteiras do sistema: A limitação temporal considerada baseia-se na durabilidade prevista pela ABNT NBR 15575: 2008, que é de 40 anos. As etapas avaliadas são: Fabricação da Estrutura, Obra, Uso e Manutenção e Desmonte e Descarte do Sistema Estrutural (FIG. 4.11).



FIGURA 4.11 – Limites/ Fronteiras do sistema a ser analisado nesta ACV

Na Fabricação da Estrutura foram incluídos dados de cada um dos componentes do sistema. Dessa forma, foram levantados dados da produção do aço, tais como matérias-primas, transporte, emissões no ar. O produto dessa fase são os perfis laminados para estrutura de viga e pilar e chapas de ligação da estrutura e as bobinas metálicas que são a matéria-prima para o deck metálico. Na fabricação do deck metálico e no beneficiamento de pilares e vigas, foram levantadas a quantidade de aço, transporte das matérias-primas e o consumo de energia.

A etapa de Obra inclui o transporte dos perfis já beneficiados e do deck de aço até o canteiro de obras do edifício, bem como os processos pelos quais os componentes

passam. Para estes processos, são levantados consumo de energia e resíduos de construção e demolição. O transporte do resíduo e sua destinação final também são contemplados nesta tese.

Após a etapa de obra, foi avaliada a etapa de Uso e Manutenção, contendo reparos previstos em projeto e substituição de peças. Não estão contemplados os insumos (gasto de água e energia, por exemplo) para uso do edifício, uma vez que o que está sendo avaliado é o sistema construtivo e não o edifício. O sistema construtivo estrutural pode alterar o desempenho térmico do edifício, por exemplo, mas o que são avaliados neste trabalho são os insumos e os recursos necessários para este sistema manter sua integridade do sistema estrutural.

O cenário após os 40 anos de vida útil do edifício é o de desmonte do edifício e consequentemente o desmonte do sistema estrutural. Nesta etapa foram levantados os maquinários necessários para a demolição, bem como a energia gasta nestes processos. São estimados os cenários possíveis de destino final baseados nas possibilidades atuais de reutilização de estruturas, reciclagem dos resíduos e descarte propriamente dito. É provável que em quarenta anos existam aproveitamentos diferentes dos atuais.

Os dados de fabricação do aço são correspondentes ao ano de 2009 que, de acordo com o fabricante, foi o ano de maior produção dos últimos cinco anos (USIMINAS, 2010). Desse modo, a capacidade de produção naquele ano foi próxima da capacidade total e as emissões no ar, provenientes dos processos, mais exatas. Para o processo de fabricação do deck em aço e dos perfis laminados para pilar e viga foram levantados dados médios dos meses de produção de maio, junho e julho do ano de 2011. A etapa de obra correspondeu ao período abril e maio de 2011. Os dados de fabricação e de obra foram obtidos através de relatórios anuais das empresas e relatórios de produção da obra durante este período. Esses dados correspondem às fabricas Usiminas (produção do aço), unidade de Ipatinga, MG; CODEME (beneficiamento de perfis) e *Metform* (fabricação do deck em aço), ambas em Betim, MG. Os dados de uso e manutenção e desmonte foram obtidos da literatura e de prestadores de serviços de demolição.

Regras de exclusão:

Embora o sistema estrutural seja formado de pilares e vigas laminados em aço, produzidos pela siderúrgica Gerdau Açominas, as emissões inventariadas referem-se à siderúrgica Usiminas. Isso em função da disponibilidade das informações. O que difere o processo de produção de bobinas e chapas dos perfis laminados é a etapa posterior ao à laminação dos blocos ou placas. Os blocos são reaquescidos para passar pelo processo de laminação dos perfis propriamente ditos. Apesar dos dados de fabricação serem da Usiminas, localizada em Ipatinga, dados referentes ao transporte são estabelecidos a partir da saída da siderúrgica Gerdau Açominas até o canteiro de obras. As saídas do sistema inventariadas são resíduos sólidos e emissões atmosféricas e não foram considerados efluentes líquidos. As categorias de impacto selecionadas estão relacionadas a essas emissões e resíduos sólidos.

Como método de avaliação do impacto do ciclo de vida selecionou-se o *Ecoindicator 99 (E)* (versão 2.07), disponível no *software Simapro*. Sua escolha deve-se ao fato da maioria dos dados inventariados serem provenientes do banco de dados *Ecoinvent*, e ambos serem europeus. Além disso, o *Ecoindicator* é uma metodologia muito usada. Deste método, foram utilizadas as categorias já citadas, e reforçadas a seguir, e adicionadas outras em função das emissões levantadas na produção do aço (TAB. 4.11).

TABELA 4.1 – Categorias de impacto a serem consideradas.

Categorias preestabelecidas (definidas no Capítulo 3)	Categorias adicionadas (emissões/ insumos correlacionadas)
<ul style="list-style-type: none"> • Mudança climática; • Depleção de ozônio estratosférico, • Acidificação; • Eutrofização; • Uso do solo; • Ecotoxicidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Compostos inorgânicos na respiração (NO_x, CO₂, SO^x e particulados); • Combustíveis fósseis (Carvão, Gás Natural e Óleo Diesel) • Minerais (minério de ferro, alumínio, etc).

Os parâmetros de normalização foram mantidos, uma vez que esse não é objetivo deste trabalho e, conforme apresentado na revisão bibliográfica, existem estudos somente para as categorias acidificação e eutrofização para regiões específicas do Brasil (PEGORARO, 2008; TACHARD, 2009).

4.1.3.1 Etapa de fabricação

O Sistema Estrutural é desmembrado no sistema viga e pilar e no sistema deck metálico, que será incorporado à laje da estrutura (FIG. 4.12). A matéria-prima para todos os elementos do sistema estrutural é a mesma: o aço carbono. Estão incluídos o deck metálico, pilares e vigas em aço e as chapas de ligação. Dessa forma, a ACV se inicia na fabricação do aço, seguindo para as fábricas da estrutura metálica e do deck metálico. Para tal, dados brasileiros foram levantados e inseridos no *software Simapro*, de forma a obter uma ACV do sistema mais próxima da realidade deste país.



FIGURA 4.12 – Componentes da Etapa de Fabricação da Estrutura

Os dados baseiam-se nos relatórios ambientais do instituto nacional de siderurgia (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010; USIMINAS, 2010) e em trabalhos acadêmicos

(UGAYA, COELHO, 2006; COSTA, 2002), além de referências de órgãos ambientais para as emissões médias (EPA, 1995).

Todos esses materiais foram cadastrados no *software Simapro* em Processos, como novos materiais e montagens, quando já se utilizam dos materiais cadastrados. A indicação entre parênteses no subtítulo se refere à alocação dessas etapas dentro do *software Simapro*.

4.1.3.2 Fabricação do aço (Processos)

O processo de fabricação do aço carbono baseia-se na produção do ano de 2009 da Usiminas, unidade de Ipatinga, MG, que utiliza como matérias-primas o carvão mineral e o minério de ferro. As usinas integradas fazem a redução do minério de ferro, produzindo gusa, e dão continuidade ao processo até gerar placas e bobinas de aço. Como usina integrada, apresenta as etapas de redução, refino e laminação.

As matérias-primas para a produção do aço são o minério de ferro, o carvão mineral, as ligas metálicas, a dolomita e a cal. O minério de ferro utilizado é proveniente de minas próximas que, no caso base, correspondem a uma distância de 290 km por transporte ferroviário (GUIA METAL, 2011). O carvão mineral é proveniente de minas da Austrália e dos EUA, embora o carvão mineral dos EUA atenda, predominantemente, o mercado interno. Quando obtidos da Austrália, passam por modais ferroviários e marítimos (FARIA, 2007), percorrendo, aproximadamente, 1.570 km de estradas de ferro e 14.000 km de vias marítimas. Os dados de emissões e recursos inventariados do transporte ferroviário e marítimo são provenientes dos bancos de dados europeus (ECOINVENT, 2010).

A etapa de coqueificação (FIG. 4.13) consiste em reduzir o carvão mineral ao coque metalúrgico através da destilação do carvão na ausência de ar, o que libera substâncias voláteis. Essas substâncias, ao serem recolhidas e tratadas, permitem a recuperação de

frações condensáveis como benzeno, tolueno e xileno. Estes gases podem ser reaproveitados na própria coqueria. O alcatrão residual da coqueria é reaproveitado para uso nas caldeiras. O coque metalúrgico é composto basicamente por carbono, com elevada resistência mecânica e alto ponto de fusão. Este produto é encaminhado ao alto forno, e os finos de coque, à sinterização e à aciaria.

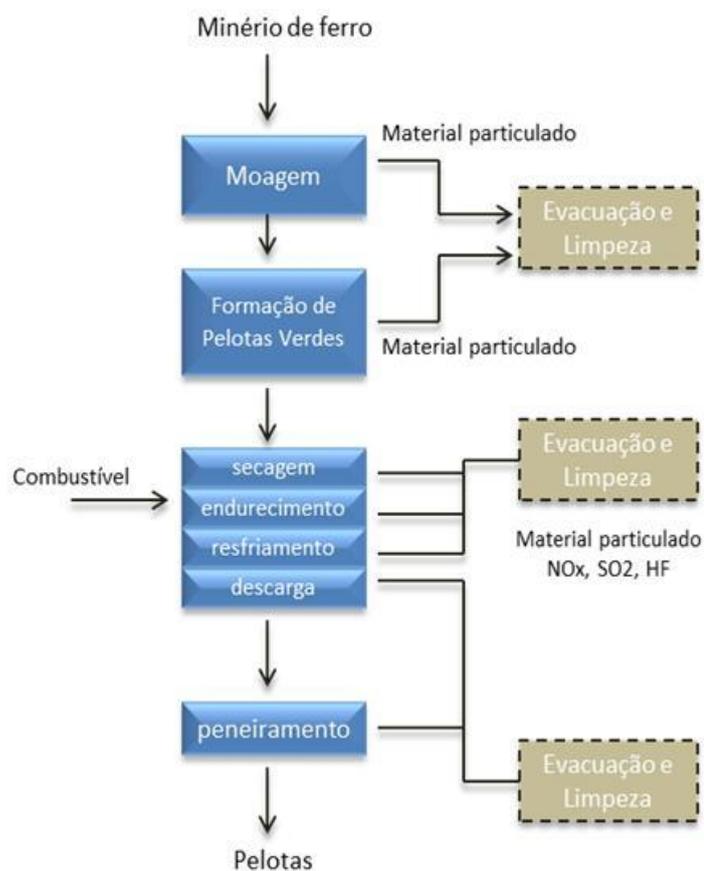


FIGURA 4.13 – Esquema de Insumos e Emissões da Coqueria (COSTA, 2002)

Na sinterização (FIG. 4.14) ocorre o preparo do minério de ferro para a produção do ferro gusa. Utiliza o coque como combustível principal e de gases como combustíveis secundários para ignição. As emissões atmosféricas são resultantes da queima e do manuseio dos materiais. Emissões secundárias ocorrem no resfriamento do sínter. A função principal da sinterização é a aglomeração de minério de ferro. É nesta etapa que ocorre a recirculação de pós, lamas, carepas, escórias, além do próprio sínter em frações mais finas.

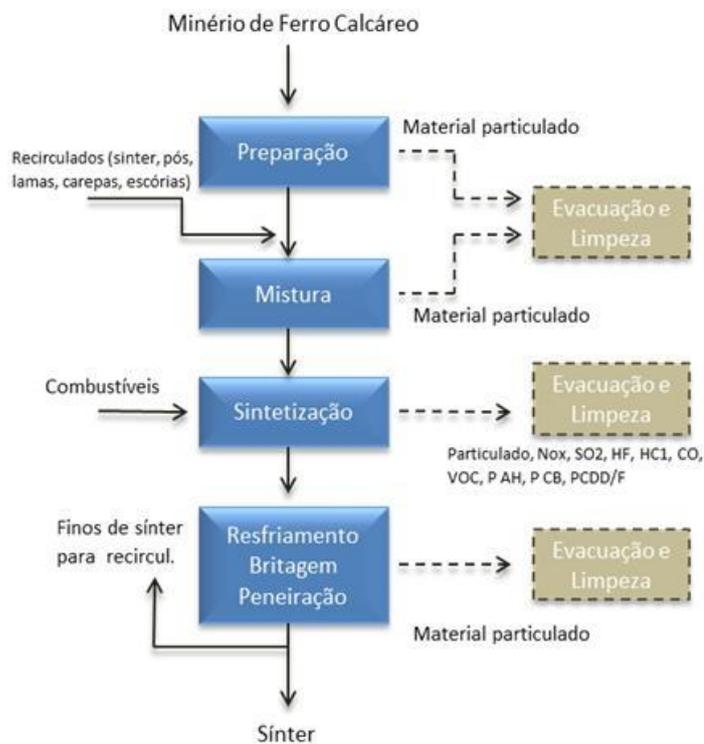


FIGURA 4.14 – Esquema de Insumos e Emissões da Sinterização (COSTA, 2002)

O produto resultante desta etapa, o sinter, é responsável por abastecer o alto forno que, juntamente com o coque, fará a redução do minério de ferro em ferro gusa. No interior do Alto Forno, o coque se torna um gás rico em monóxido de carbono (CO), que serve tanto como redutor do minério de ferro, transformando-o em ferro gusa, quanto combustível, saindo como emissão pela chaminé do alto forno. Outro subproduto do alto forno é a escória, que pode ser usada como aditivo na fabricação de cimento Portland (SAADE, 2010). Outras emissões consideráveis nesta etapa da fabricação do aço são: NO_x, SO₂, H₂S e material particulado.

O ferro gusa resultante do alto forno é depositado em vagões revestidos internamente por material refratário (“carros torpedos”) com destino à Aciaria, um conversor com a injeção de oxigênio, onde o ferro gusa será transformado em aço. No conversor, o oxigênio reage com os produtos existentes, gerando altas temperaturas (1700°C) e combinando-os com silício, manganês, carbono, dentre outros, oxidando o carbono até os níveis adequados e retirando impurezas indesejáveis, como enxofre, silício e fósforo,

principalmente. Desse processo, resulta a escória de aciaria, que pode ser usada como agregado siderúrgico de pavimentação rodoviária (SAADE, 2010). Após essa etapa, o material passa pela chamada “Metalurgia de Panela”, onde é ajustada a composição do aço e este é direcionado para o lingotamento. As emissões importantes nessa etapa são de material particulado e de NOx.

No lingotamento contínuo, o aço sai diretamente da Aciaria para a primeira fase da laminação, etapa em que as emissões atmosféricas, os efluentes líquidos e os resíduos sólidos não são relevantes. Essa etapa dá origem ao perfil laminado, que é o produto usado no pilar e na viga metálica do sistema em estudo, e às placas usadas para as chapas de ligação. Essas peças possuem comprimento nominal de 12 metros, compatível com o transporte rodoviário. As seções variam conforme o catálogo. As chapas finas de aço, após o lingotamento ou laminação, são embobinadas com larguras padrão de 1250mm. Essas bobinas são direcionadas ao galpão de galvanização ou zincagem (item 5.2.2) e, ao final desse processo, transportadas para a fábrica do deck metálico.

A TAB. 4.2 apresenta os dados de fabricação, da forma como foram inseridos no *software*.

TABELA 4.2 – Relação dos insumos e energia para produção de 1kg de aço (USIMINAS, 2010).

Matérias-primas/ Transporte	Quantidade	Unidade	Base de dados ⁶
Água	23,52x10 ⁻³	m ³	
Mínério de Ferro	1,484	kg	<i>Ecoinvent (GLO)</i>
Cal	0,400	kg	<i>Ecoinvent (NL)</i>
Carvão Mineral	0,497	kg	<i>LCA Food DK</i>
Alumínio	0,003	kg	<i>Ecoinvent (RER)</i>
Antracito	0,025	kg	USLCI
Argônio	0,001	kg	<i>Ecoinvent (RER)</i>

⁶ As siglas GLO, CH, RER, BR e OCE relacionam-se à abrangência dos dados que significam “globais”, “suíços”, “europeus”, “oceânicos” e “brasileiros”, respectivamente.

TABELA 4.2 – Relação dos insumos e energia para produção de 1kg de aço (USIMINAS, 2010). (continuação)

Calcário	0,010	kg	<i>Ecoinvent (CH)</i>
Coque	0,010	kg	USLCI
Coque de petróleo	0,093	kg	<i>Ecoinvent (RER)</i>
Sucata	0,142	kg	<i>Ecoinvent (RER)</i>
Lamas	0,008	kg	
Pós	0,061	kg	
Energia Elétrica	$1,779 \times 10^{-3}$	kwh	<i>Ecoinvent (BR)</i>

A TAB. 4.3 apresenta os dados de emissões da produção do aço, tais como cadastradas no *software*. Esses são dados relativos às emissões declaradas no Relatório Anual Usiminas (USIMINAS, 2010).

TABELA 4.3- Relação de emissões para o ar por kg de aço produzido (USIMINAS, 2009)

Emissões para o ar	Quantidade	Unidade
CO ₂	2,262881781	kg
Calor residual	0,197004	kJ
NO _x	0,002864795	kg
Particulados (PMT)	0,001804795	kg
Particulados (<10um)	0,000902397	kg
Particulados (<2.5um)	0,000451199	kg
SO _x	0,002239178	kg
VOC	4,63014E-05	kg
FREON 22	1,20548E-07	kg
SUVA124	9,72603E-08	kg
SUVA 134a	1,05479E-07	kg
ISCEON M059	1,26027E-07	kg
SUVA 407c	4,24658E-08	kg
R-22	5,56164E-07	kg
R-124	1,90411E-07	kg

TABELA 4.3- Relação de emissões para o ar por kg de aço produzido (USIMINAS, 2009) (continuação)

R-134A	3,9726E-07	kg
R-141B	8,63014E-08	kg
HCFC ou HFC ⁷	1,72192E-06	kg

Nesta etapa são gerados 640 quilos de resíduos e co-produtos para cada tonelada de aço (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010). Desse total (640kg/T de aço) 86% do resíduo é reutilizado, 11% é estocado para reciclagem posterior e 3% vai para a disposição final no aterro industrial. Dos resíduos que são reutilizados, 60% são agregados siderúrgicos, que por sua vez, são vendidos para a fabricação do cimento (62%) e pavimentação de estradas (23%), 7% são destinados à reciclagem interna, 6% vão para o estoque (que contribui para o estoque de 11% total) e 7% são doados para prefeituras, que também utilizam-nos em pavimentação.

Os meios de transporte contabilizados nesta etapa (marítimo e ferroviário) estão listados na TAB. 4.4, e os dados europeus foram usados como referência. Apenas no transporte ferroviário houve uma aproximação, pois o marítimo é de abrangência global.

A unidade tonelada-quilômetro (tkm), utilizada pelas bases de dados, leva em conta o peso da carga e a distância percorrida. Conforme já foi explicitado, o carvão mineral percorre 1.570 km de estradas de ferro e 14.000 km de vias marítimas e o minério de ferro percorre 290 km por transporte ferroviário.

⁷ Referente-se à soma dos gases FREON, SUVA, ISCEON, R-22, R-124, R-134, R-141

TABELA 4.4 – Dejetos e saídas para a tecnosfera e meios de transporte utilizados na produção do aço carbono brasileiro

	Resíduos	Quantidade	Unidade	Base de dados
Resíduos	Aterro Sanitário	0,012	kg	<i>Ecoinvent</i> (CH)
	Reciclagem Interna+Venda	0,741	kg	<i>Ecoinvent</i> (RER)
	Aterro Industrial	0,025	kg	<i>Ecoinvent</i> (CH)
	Co-processamento	0,002	kg	
Transportes	Transporte Marítimo Carvão Mineral	6,96	Tkm	<i>Ecoinvent</i> (OCE)
	Transporte Ferroviário Minério de Ferro	0,43	Tkm	<i>Ecoinvent</i> (RER)
	Transporte Ferroviário Carvão Mineral	0,78	Tkm	<i>Ecoinvent</i> (RER)

O deck metálico é feito de aço posteriormente galvanizado, que é o próprio aço carbono. Para tal, a bobina de aço passa pelo processo de zincagem. Antes desse processo, as chapas metálicas são limpas de impurezas, como óleos e graxas, e gerando um resíduo sólido que é o lodo, um efluente que está de acordo com os valores previstos na ABNT NBR 10.004: 2004, além de ácido clorídrico em uma concentração menor ou igual a 8% peso por volume (p/v). De acordo com NASCIMENTO (2006, p 3),

Na cuba de zincagem propriamente dita, tem-se a formação de dois tipos de resíduos: as cinzas e a borra de zinco. A borra de zinco é constituída de 90 a 95% (p/p) de zinco. As cinzas são constituídas de 70 a 80% (p/p) de zinco metálico. Os resíduos da cuba de zincagem, cinza e borra respectivamente, são encaminhados às fundições ou negociadas com o próprio fornecedor de lingotes de zinco, que as reutilizam, no caso da borra, para a fabricação de novos lingotes e, no caso da cinza, para a fabricação de óxido de zinco. Isso gera um abatimento no custo da matéria-prima (zinco). Os resíduos sólidos gerados no tratamento de efluentes e lama de fundo de tanques são

encaminhados para leitos de secagem e, em seguida, enviados para co-processamento em fornos de cimento.

Para execução da ACV, foi utilizado o processo de zincagem médio da união europeia (ECOINVENT, 2009). O processo termina com a passagem das placas na bobinadeira, que é comercializada em larguras de 1250mm. A TAB. 4.5 apresenta os dados utilizados no cadastro do aço galvanizado.

TABELA 4.5 – Dados de materiais e processos para o aço galvanizado, chapa de 0,80mm.

Material/ Recurso	Componentes	Quantidade	Unidade	Fonte
Aço Galvanizado	Aço Carbono	1,0	kg	Tab. 5.1; 5.2; 5.3
	Zincagem a quente	0,31846	m ²	<i>Ecoinvent (RER)</i>

4.1.3.3 Fabricação do Deck Metálico (Processos)

O Deck Metálico é fabricado com o aço especial galvanizado ASTM A 653 Grau 40, proveniente de usinas siderúrgicas brasileiras, e é transportado pelas rodovias. No caso desta análise, o percurso da fábrica do aço galvanizado até a fábrica do deck metálico foi de 200 km. Foi utilizado o perfil com 0,80mm de espessura e largura útil de 915mm. É importante ressaltar que, neste trabalho, o aço é produzido no Brasil, mas, na realidade, são utilizadas bobinas brasileiras e de diversas partes do mundo, o que inclui a Coreia do Sul, a China, etc.

O Deck Metálico é comercializado em bobinas de 1250mm de largura, as quais são inseridas na linha de conformação contínua em mesa de roletes, passam pela desembobinadeira e pela formação das ondas, o que dá origem aos decks em aço. A largura final é a largura da chapa inicial (1200mm) após a formação de nervuras (915mm).

Uma quantia de 3% do aço galvanizado é descartada e vendida às indústrias de ferro gusa, onde passam, novamente, pelo processo de reciclagem. Para tal, é transportada por carretas (cavalo mecânico com semi-reboque) a uma distância de 50 km entre a fábrica do deck metálico e a fábrica que fará a reciclagem.

Os equipamentos utilizados na fabricação do deck metálico são: uma máquina perfiladeira, uma unidade hidráulica e uma ponte rolante com capacidade de cinco toneladas. O gasto energético é de 8,5 kWh por tonelada de material produzido. Para o sistema estrutural que está sendo analisado foram gastos 48,6 toneladas, totalizando um gasto energético de 413 kWh.

Na utilização do *software Simapro*, o deck metálico foi cadastrado como um material novo por unidade unitária (1kg), considerando este como um dos materiais bases para o sistema. Se for cadastrado como um material na montagem, a destinação final dos resíduos e co-produtos não é contemplada, pois não é visto como um ciclo de vida. Além disso, não existem materiais brasileiros cadastrados nos bancos de dados existentes no *Simapro*. Uma vez cadastrado por unidade unitária, pode ser utilizado em qualquer montagem através do lançamento do montante total. A TAB. 4.6 contém os componentes do Deck Metálico cadastrados no *software*:

TABELA 4.6- Fabricação do deck metálico por unidade de massa (1kg)

Material/ Recurso	Componentes	Quantidade	Unidade	Fonte
		e	e	
Deck Metálico	Aço Galvanizado	1,03	kg	Tab. 5.1; 5.2; 5.3 e 5.4
	Transporte Rodoviário da matéria-prima até a fábrica	0,250	tkm	<i>Ecoinvent</i> (<i>RER</i>)
	Transporte Rodoviário do resíduo até a reciclagem	0,0015	tkm	<i>Ecoinvent</i> (<i>RER</i>)
	Energia Elétrica	0,0085	kWh	<i>Ecoinvent (BR)</i>
	Reciclagem de aço	0,03	kg	<i>Ecoinvent</i> (<i>RER</i>)

O aço galvanizado é cadastrado com uma quantidade de 1,03kg, pois se considera que 3% deste montante serão resíduos ao final do processo. Os transportes cadastrados relacionam a distância com o peso da carga e, por isso, são cadastrados em toneladas multiplicados pela quilometragem (tkm).

4.1.3.4 Fabricação da Estrutura Metálica (Processos)

Por estrutura entende-se o conjunto de perfis metálicos já com furações para o parafusamento e elementos (chapas) de ligação entre perfis e o conjunto dos perfis com a fundação do edifício. Na fábrica de estrutura metálica ocorrem dois processos paralelos que foram utilizados nesse trabalho: o beneficiamento dos perfis e a fabricação das chapas.

Os perfis laminados chegam da siderurgia por transporte rodoviário em carretas de capacidade máxima de 32 toneladas, com perfis de comprimentos de 6.000mm e 12.000mm, tendo percorrido 250 km. Na fábrica de estruturas, os perfis vão para a estocagem ou são inseridos na linha de beneficiamento. As chapas que originarão as peças de ligação, vêm em placas de dimensões de 2440 x 12000 mm, também pelo transporte rodoviário por 250 km. Nas duas situações o material chega à fábrica de estruturas e é transportado por ponte rolante de capacidade máxima de 8 toneladas até a linha de beneficiamento.

O perfil laminado é serrado para atender ao projeto estrutural, ou para regularizar as pontas. Neste caso, gera a limalha, que é o resíduo metálico e é recolhido em caixas adequadas para ser vendido como sucata.

Paralelamente, as chapas planas que irão fazer parte da composição das ligações sofrem corte a plasma, que gera a “borra”, um resíduo em pó que se junta à sucata e é vendido para siderurgias de ferro gusa.

Já com as dimensões de projeto as peças, chapas e perfis passam pelo processo de furação, identificando os locais de parafusamento da estrutura. Após esta etapa, passam por cortes específicos e soldas que gerarão os detalhes das ligações.

O acabamento final é feito manualmente através de máquinas de solda, lixadeira, maçarico. Com todas as peças preparadas, a estrutura é pré-montada em conjuntos de perfis e ligações, sendo soldada em alguns pontos. Após a pré-montagem os elementos são transportados até o local da obra.

Este processo gera de 8 a 9% de resíduos metálicos que são transportados em caçambas sobre caminhões para as siderurgias – de aciaria elétrica que utilizam sucata para produção de ferro gusa – que se localizam a 50 km da fábrica de estruturas.

Sendo assim, os recursos lançados demandados para o sistema estrutural estudado neste trabalho e lançados no *software* para a fabricação da estrutura metálica estão descritos na TAB. 4.7:

TABELA 4.7 - Fabricação da estrutura metálica por kg de produção

Material/ Recurso	Componentes	Quantidade	Unidade	Fonte
	Aço Carbono	1,08	kg	Tab. 5.1; 5.2; 5.3
	Transporte Perfil			
Pilar e Viga	Laminado– Siderúrgica	0,27	tkm	<i>Ecoinvent (RER)</i>
	Fábrica de Perfis			
Metálicos	Energia Elétrica	0,705	kWh	<i>Ecoinvent (BR)</i>
	Transporte resíduo para reciclagem	0,004	tkm	<i>Ecoinvent (RER)</i>

4.1.3.5 Sistema Estrutural em Aço (Montagem)

Finalizada a etapa de cadastro unitário dos materiais, deve-se montar o sistema através das quantidades necessárias para cada componente. Assim, a etapa de fabricação do Sistema Estrutural em Aço possui apenas materiais, uma vez que processos e emissões estão embutidos no cadastro unitário dos materiais. Para o sistema aqui estudado, tem-se (TAB. 4.8):

TABELA 4.8 – Montagem do Sistema Estrutural em Aço

Componentes	Quantidade	Unidade
Deck Metálico	48600	kg
Pilares, Vigas e chapas de aço	206000	kg

4.1.4 Etapa de obra

A etapa de obra se inicia com o transporte de cada um dos componentes até o canteiro de obras, passando pelos processos de montagem, conforme está esquematizado na FIG. 4.15.



FIGURA 4.15 - Limites da etapa de Obra.

O transporte de toda a estrutura (pilares, vigas e deck metálico) foi feito por 7 carretas com capacidade máxima de 27 toneladas. Foram 3 carretas para o transporte de vigas e pilares e 4 para o deck metálico. Para o transporte, as peças são empilhadas sobre a carroceria do caminhão e separadas por barrotes de madeira para evitar que se danifiquem por atrito. O peso dos barrotes com relação à carga total é de 0,033%. A distância percorrida entre as fábricas – localizadas em Betim – e a obra é de 23 km. Ao descarregar os decks metálicos e os perfis na obra, esses barrotes de madeira se juntam aos resíduos de obra, já que não são reutilizados (RCD).

Para a montagem das estruturas e do deck metálico são utilizadas duas parafusadeiras elétricas, três máquinas de solda, três lixadeiras, uma furadeira e um maçarico com consumo máximo de 15 kWh. A geração dessa energia é de fornecimento público. Para aplicação de conectores de cisalhamento das vigas mistas de aço e concreto (stud bolts), há um equipamento específico que demanda um gerador específico de 220 kWh. A movimentação das peças na obra é feita por uma grua (Liebher 80 LC fabricada em 2001) com 40 m de raio e altura livre de gancho de 38m com consumo de até 40 kWh.

Durante a obra há uma perda de 3% do material, especialmente nas peças do deck metálico, que são recolhidas por caçambas e destinadas às empresas cadastradas e autorizadas ambientalmente para reciclagem. Esse transporte é feito por caminhões tipo caçamba, que percorrem uma distância de 80 km. Os resíduos dessa etapa são cadastrados no cenário de destino final. Dessa forma, tem-se o material metálico que irá para a reciclagem de aço e a disposição de barrotes de madeira no RCD municipal. A TAB. 4.9 resume os procedimentos apresentados e representa os dados inseridos no *software*:

TABELA 4.9 – Insumos e recursos cadastrados na etapa de Obra

Componentes/ Processos	Quantidade	Unidade	Fonte/ Observação
Materiais descartados na obra	7.638	kg	Perda de 3% sobre o montante.
Gasto energético de maquinário	55	kWh	<i>Ecoinvent (BR)</i>
Gasto energético de maquinário	220	kWh	<i>Ecoinvent (RER)</i>

(geradores)

Transporte Pilar e Viga	4700	tkm	<i>Ecoinvent (RER)</i>
Transporte Deck Metálico	1200	tkm	<i>Ecoinvent (RER)</i>
Transporte resíduo para reciclagem	635	tkm	<i>Ecoinvent (RER)</i>
Barrotes de madeira pinus p/ transporte	4,76	m ³	<i>Ecoinvent (BR)</i>
Barrotes de madeira p/ aterro	4,76	m ³	<i>Ecoinvent (CH)</i>
Sucata p/ reciclagem	7.638	kg	<i>Ecoinvent (RER)</i>

4.1.5 Uso e manutenção (Processo)

Na etapa de uso, o sistema estrutural de aço não demanda energia, água ou qualquer outro processo para manter o seu funcionamento. Assim, as atenções se voltam para a manutenção do sistema construtivo (FIG. 4.16).



FIGURA 4.16 – Esquema da etapa de manutenção.

A manutenção preventiva da estrutura de vigas e pilares deve ser feita anualmente ao longo de 40 anos. Entretanto, somente na primeira inspeção, 100% das peças deverão ser vistoriadas. Nas seguintes é possível fazer a verificação por amostragem, em 40 a 60% das peças. As verificações abordam o início de corrosão das vigas e pilares metálicos, bem como suas ligações e a integridade dos componentes da ligação da estrutura metálica.

Quanto às ligações soldadas, deve-se observar a qualidade e integridade das soldas e, caso apareçam dúvidas, realizar um ensaio com líquido penetrante. Esses procedimentos devem atender à norma AWS. D1.1/D1.1 M: 2008 *Structural welding code steel*. Nas ligações parafusadas deve-se observar a existência de corrosão nos elementos conectados, parafusos soltos ou inexistentes. Os procedimentos de manutenção cadastrados no *software* foram os seguintes (TAB. 4.10):

TABELA 4.10 – Insumos e recursos cadastrados no Cenário de Destino Final

Componentes/ Processos	Quantidade	Unidade	Fonte/ Observação
Gasto energético de maquinário	55	kWh	<i>Ecoinvent (BR)</i>
Substituição de peças	50	kg	Tab. 5.1; 5.2; 5.3

Foi necessário cadastrar a substituição de peças como um novo processo, e também cadastrar a matéria-prima de substituição (aço carbono) em valores unitários para que possam ser preenchidos na própria etapa de manutenção.

4.1.6 Etapa de desmonte e destinação final (Cenário de destino final)

Na etapa de desmonte e destinação, ao final de 40 anos de uso, foi considerado o uso de maquinário como lixadeira e desparafusadeira para separação dos componentes. O processo ocorre segundo ilustra a FIG. 4.17.



FIGURA 4.17 - Esquema da etapa de desmonte e destino final.

Para a separação das peças da estrutura e do deck metálico, são utilizadas parafusadeiras elétricas, máquinas de solda, lixadeiras, furadeiras e maçaricos, que consomem 50 kWh. Após a separação da peças, estima-se que 3% do total não poderá ser reciclado, em função da solidarização com o concreto. Essa parcela será destinada ao aterro sanitário e o restante percorrerá uma distância de 70 km em direção às usinas semi-integradas para abastecimento de altos-fornos de ferro gusa. O cenário de descarte do sistema estrutural em aço é mostrado na TAB. 4.11, a seguir.

TABELA 4.11 – Insumos e recursos cadastrados na etapa de Cenário de Destino Final

Componentes/ Processos	Quantidade	Unidade	Fonte/ Observação
Reutilização	80	%	Montagem
Reciclagem	17	%	<i>Ecoinvent (RER)</i>
Aterro	3	%	<i>Ecoinvent (CH)</i>
Gasto energético de maquinário	55	kWh	<i>Ecoinvent (BR)</i>
Transporte resíduo para reciclagem	2900	Tkm	<i>Ecoinvent (RER)</i>
Transporte resíduo para aterro	148	Tkm	<i>Ecoinvent (RER)</i>
Transporte resíduo para reutilização	4690	Tkm	<i>Ecoinvent (RER)</i>

4.1.7 Resultados da Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida – processos que mais contribuem para o impacto ambiental do sistema

Enquanto não existem dados de sistemas compatíveis para comparação e utilização da ACV como ferramenta de seleção, recorre-se ao uso da mesma para outro propósito: a identificação da etapa mais impactante e a proposição de melhorias na performance ambiental do sistema. Na medida em que forem sendo construídos inventários de ciclo de vida de outros materiais, os mesmos poderão ser incorporados à metodologia, o que no futuro permitirá a comparação entre sistemas de uma mesma unidade funcional.

Conforme já explicitado no início dessa seção, optou-se por utilizar como metodologia de AICV o *Ecoindicator*, customizando-a no sentido de excluir algumas categorias que são menos utilizadas nos trabalhos em ACV na construção civil. Os resultados serão

apresentados aplicando a metodologia proposta: avaliação de todas as etapas do ciclo de vida (fabricação, obra, uso/manutenção e descarte), avaliação das etapas de fabricação e demolição e avaliação das etapas de obra e manutenção.

4.1.7.1 Avaliação do Ciclo de Vida do Sistema Estrutural em Aço – todas as etapas

O Anexo 2 contém o inventário completo dessa ACV e o gráfico da FIG. 4.18 apresenta o resultado da ACV do sistema estrutural em aço em função das categorias de impacto. Este tipo de resultado tem por objetivo verificar quais etapas do ciclo de vida mais contribuem para o impacto.

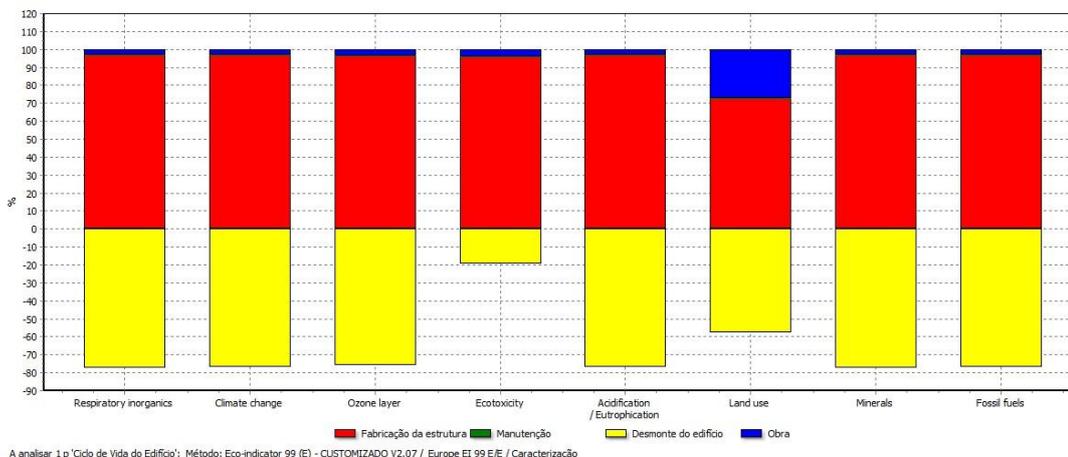


FIGURA 4.18 – Resultado da ACV do sistema estrutural em aço

A partir da análise da FIG. 4.18, percebe-se que a fabricação da estrutura é a etapa de maior impacto ambiental do edifício, e que a etapa de manutenção não aparece no gráfico, em função do impacto total irrisório. O desmonte do edifício compensa em quase 80% o impacto em quase todas as categorias (porcentagens negativas). Nas categorias ecotoxicidade e uso do solo, o desmonte tem uma compensação menor do impacto total do ciclo de vida do sistema estrutural em aço (20% e 45%, respectivamente). A etapa de obra é significativa na categoria de impacto ambiental “uso

do solo”, na qual é responsável por aproximadamente 30% do impacto total. Nas restantes, colabora com menos de 5% do impacto total do sistema.

A partir do fluxograma da categoria de “potencial de aquecimento global” (FIG. 4.19), é possível perceber quais são os processos mais responsáveis por este impacto. Observa-se que o transporte possui baixa contribuição neste impacto e que a produção do aço carbono é a maior responsável pelo mesmo. Este fluxo é um corte dentro do processo inteiro, e dessa forma, o deck metálico não aparece, pois sua parcela de contribuição é ainda menor, e nesta escala de corte não é possível visualizá-lo.

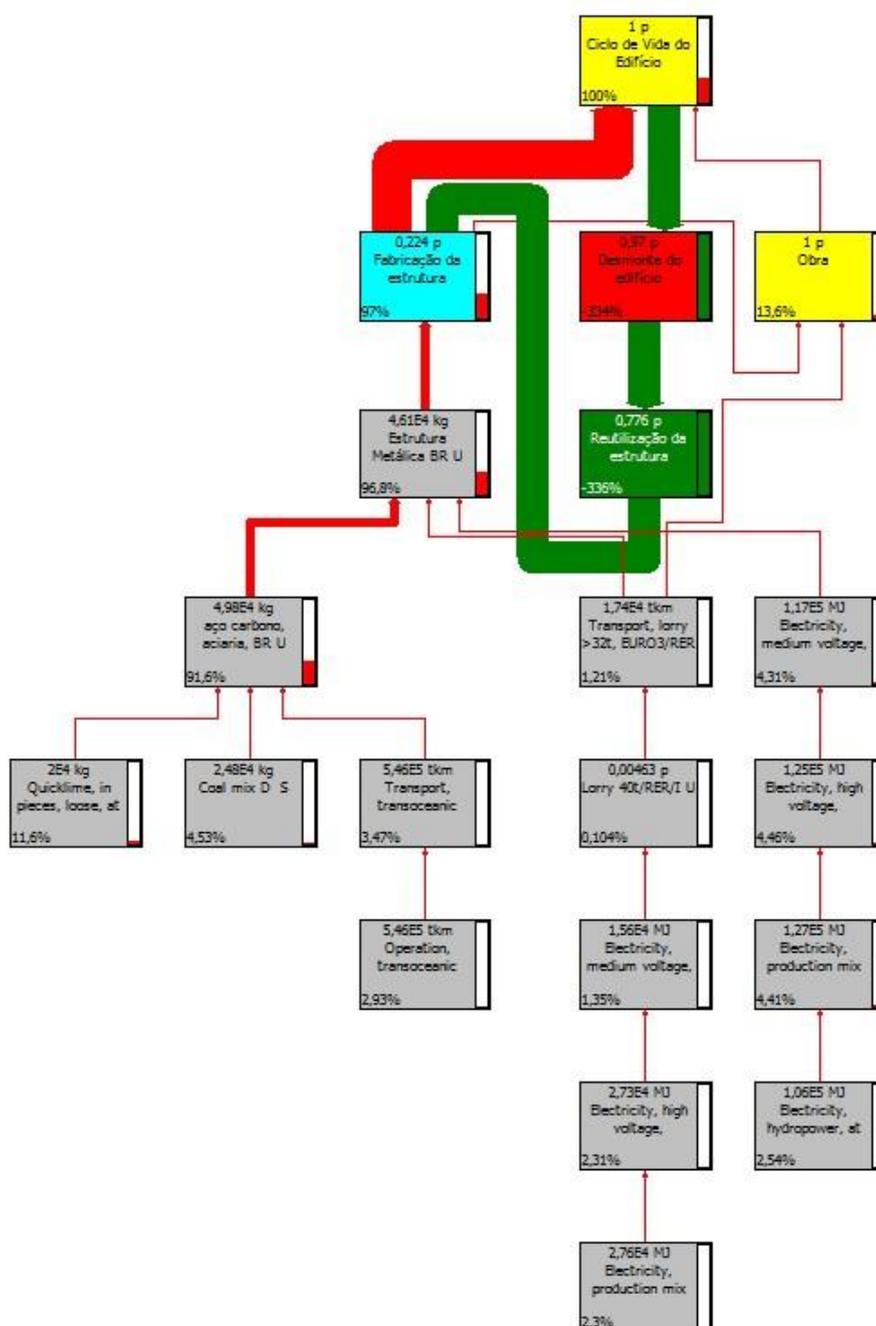


FIGURA 4.19 – Fluxo do impacto de “potencial de aquecimento global”.

A FIG. 4.20 apresenta o resultado da ACV após a ponderação e em termos totais de pontuação de acordo com a metodologia *Ecoindicator*. Conforme já explicitado, não cabe discutir a normalização utilizada neste trabalho, apesar deste resultado ser importante para identificar as categorias de impacto em que os resultados foram maiores.

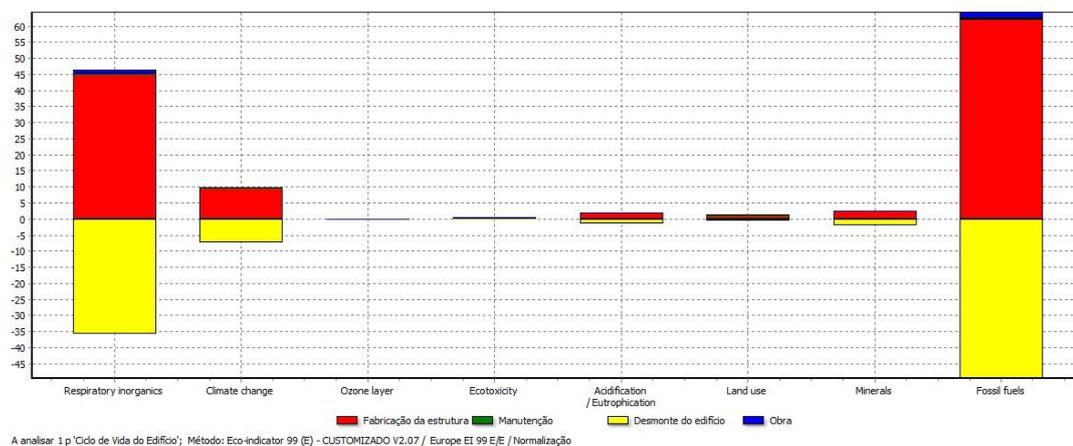


FIGURA 4.20 – Resultado da ACV do sistema estrutural em aço por ponderação.

Observa-se que as categorias “componentes inorgânicos inaláveis” (*respiratory inorganics*) e “combustíveis fósseis” obtiveram os maiores resultados finais.

A FIG. 4.21 apresenta a outra comunicação dos resultados a partir do *Ecoindicator*. Confirmando as informações extraídas da FIG.s 4.19 e 4.20, as etapas de fabricação e desmonte possuem maior peso na ACV do sistema estrutural em aço, e as categorias mais consideráveis neste caso são “componentes inorgânicos inaláveis”, “depleção de combustíveis fósseis” e “potencial de aquecimento global”.

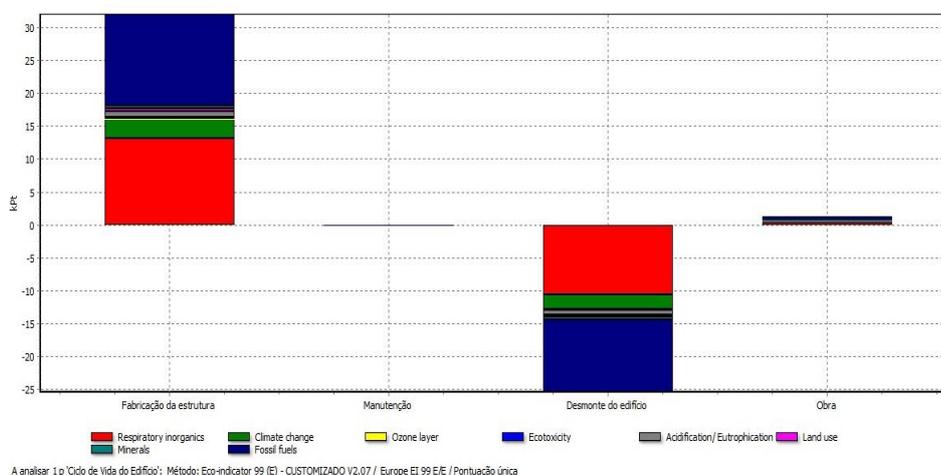


FIGURA 4.21 – Resultado da ACV do sistema estrutural em aço por pontuação.

Dessa forma, é importante conhecer melhor os fluxos de contribuição desses dois impactos no sistema. A partir de então é possível analisar também os fluxos específicos de cada categoria de impacto. Como a proposta é separar as etapas de fabricação e desmonte das etapas de obra e manutenção, essa análise será feita nestes processos.

4.1.7.2 Avaliação do Ciclo de Vida do Sistema Estrutural em Aço – fabricação e desmonte

A avaliação dos ciclos de vida dos materiais, dentro do processo do ciclo de vida do sistema construtivo em aço, justifica-se por avaliar somente os materiais e suas cargas ambientais embutidas e o potencial de reuso e reciclagem que possa “compensar” impactos de fabricação. A FIG. 4.22 apresenta o resultado global dessas etapas.

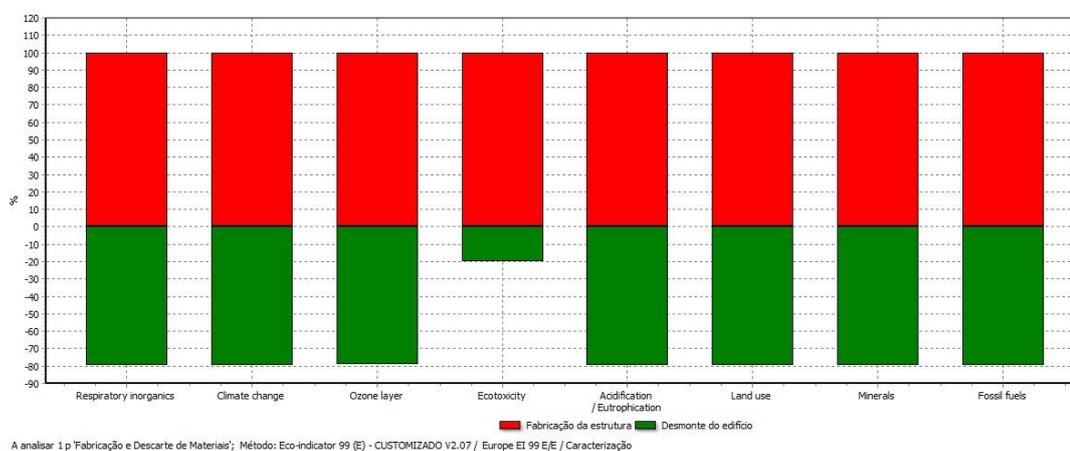


FIGURA 4.22 – Resultado da ACV dos materiais constituintes do sistema construtivo em aço.

Como essas etapas sobrepuseram os resultados em termos quantitativos diante da obra e manutenção, o resultado do gráfico apresentado na FIG. 4.22 é similar ao do ciclo de vida total. Assim, somente no critério ecotoxicidade o desmonte do edifício, que neste caso se refere ao destino final dos materiais, reduz menos o impacto da fabricação dos

materiais. Nas outras categorias, o reuso e reciclagem dos materiais reduz em aproximadamente 80% do impacto.

O fluxograma da FIG. 4.13 apresenta a contribuição de uma forma geral de cada uma das fases da fabricação e desmonte do edifício.

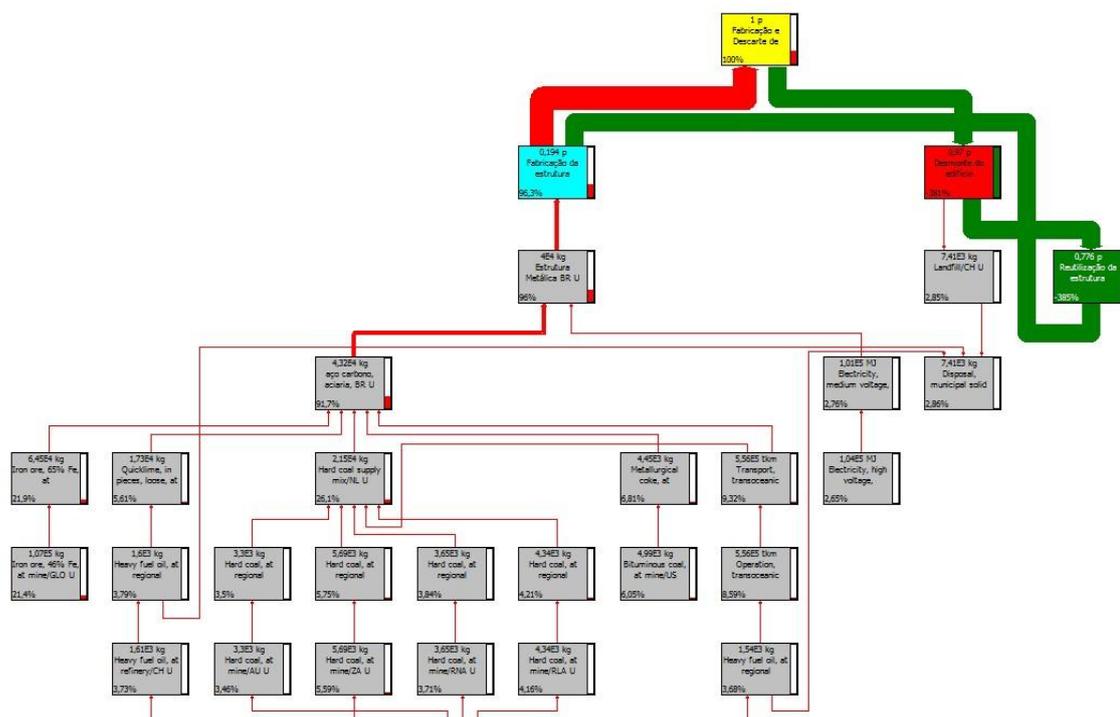


FIGURA 4.13 – Fluxo do impacto global na fabricação e descarte dos materiais.

A FIG. 4.24 apresenta os resultados das categorias de impacto ambiental por pontuação única, através da verificação das categorias de impacto mais significativas na fabricação e descarte dos materiais.

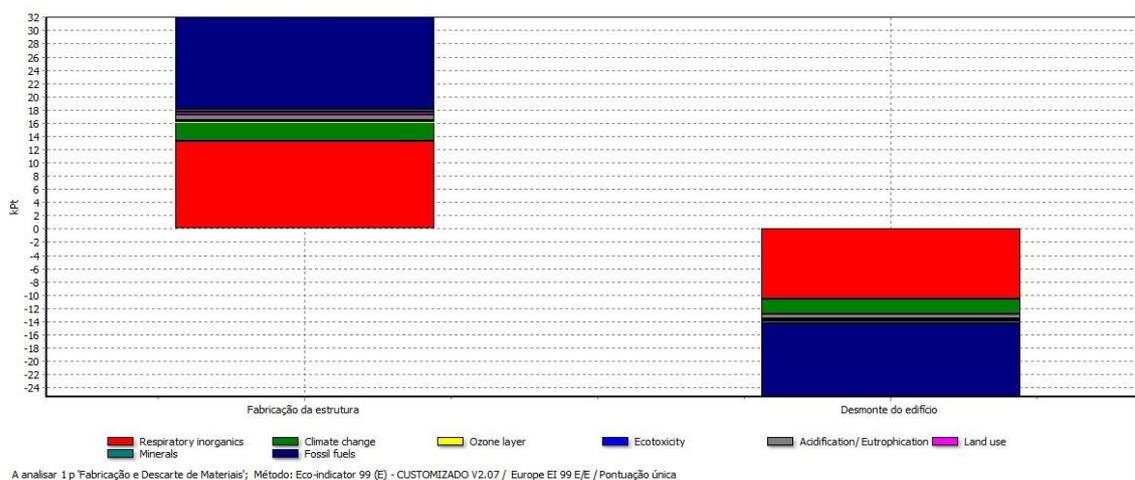


FIGURA 4.24 – Contribuição por categoria de impacto na fabricação e descarte dos materiais.

As categorias mais significativas nas etapas de fabricação e descarte dos materiais são “componentes inorgânicos inaláveis” (*respiratory inorganics*), “combustíveis fósseis” e, em menor escala, “potencial de aquecimento global”. Para avaliar os resultados negativos, a etapa de fabricação dos materiais é investigada nas FIG.s 4.25; 4.26 e 4.27.

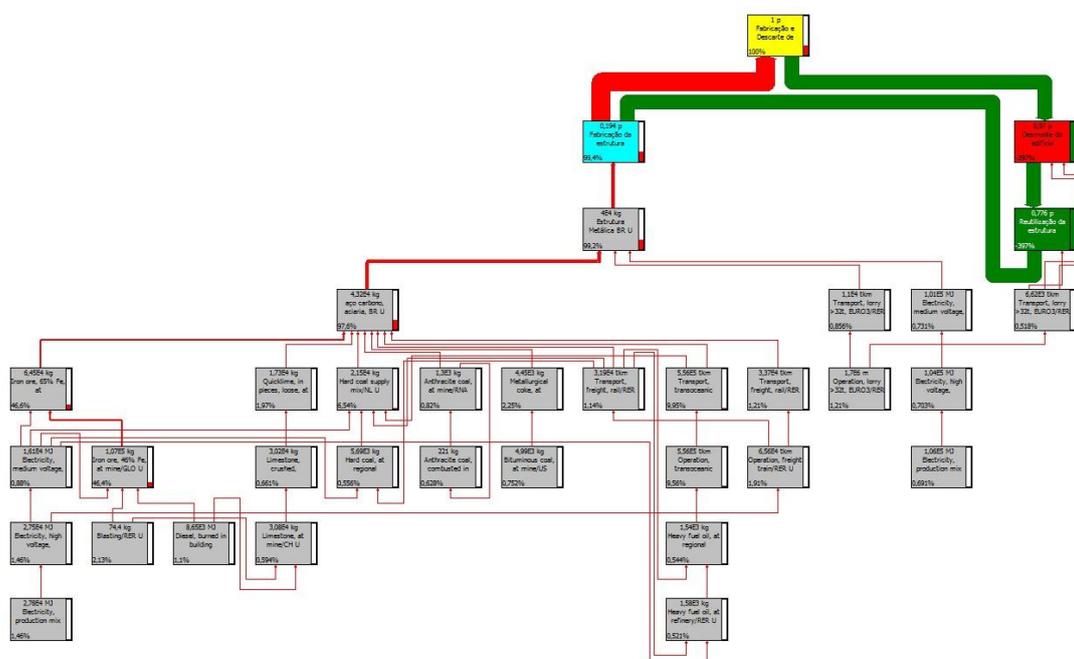


FIGURA 4.25 – Fluxo do impacto “componentes inorgânicos inaláveis” na etapa de fabricação.

Neste caso, verifica-se que o maior contribuidor para a geração de inorgânicos que prejudicam a respiração humana é o minério de ferro e sua mineração. Na sequência, mas em menor proporção, está o transporte transoceânico deste minério de ferro. Como já foi descrito anteriormente, o minério de ferro utilizado na produção de aço carbono no Brasil é proveniente, em grande parte, da Austrália (FARIA, 2007), e o impacto do transporte transoceânico deve-se às grandes distâncias.

Com relação aos combustíveis fósseis (FIG. 4.26), o maior contribuidor é o próprio carvão mineral, com 57% do consumo na fabricação do aço, seguido da coqueria (13%) e do transporte transoceânico (6,72%).

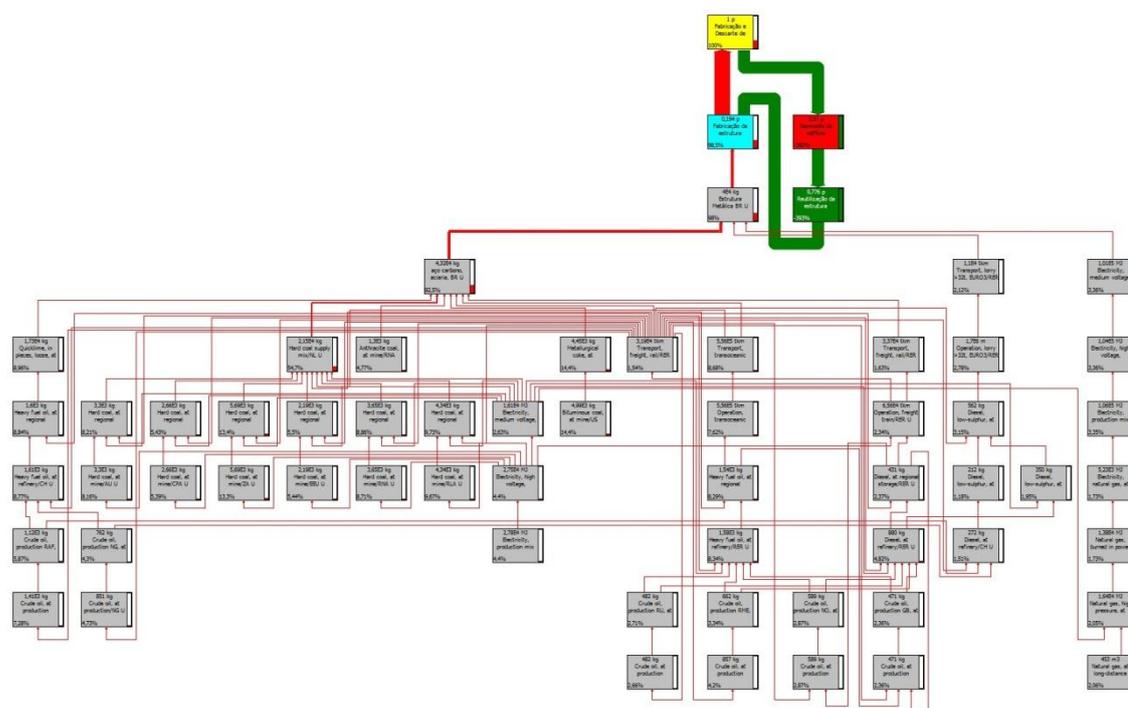


FIGURA 4.26 – Fluxo do impacto “depleção de combustíveis fósseis” na etapa de fabricação.

A FIG. 4.27 apresenta o fluxograma do impacto “potencial de aquecimento global” que contribuiu com 9% do impacto total da fabricação dos materiais.

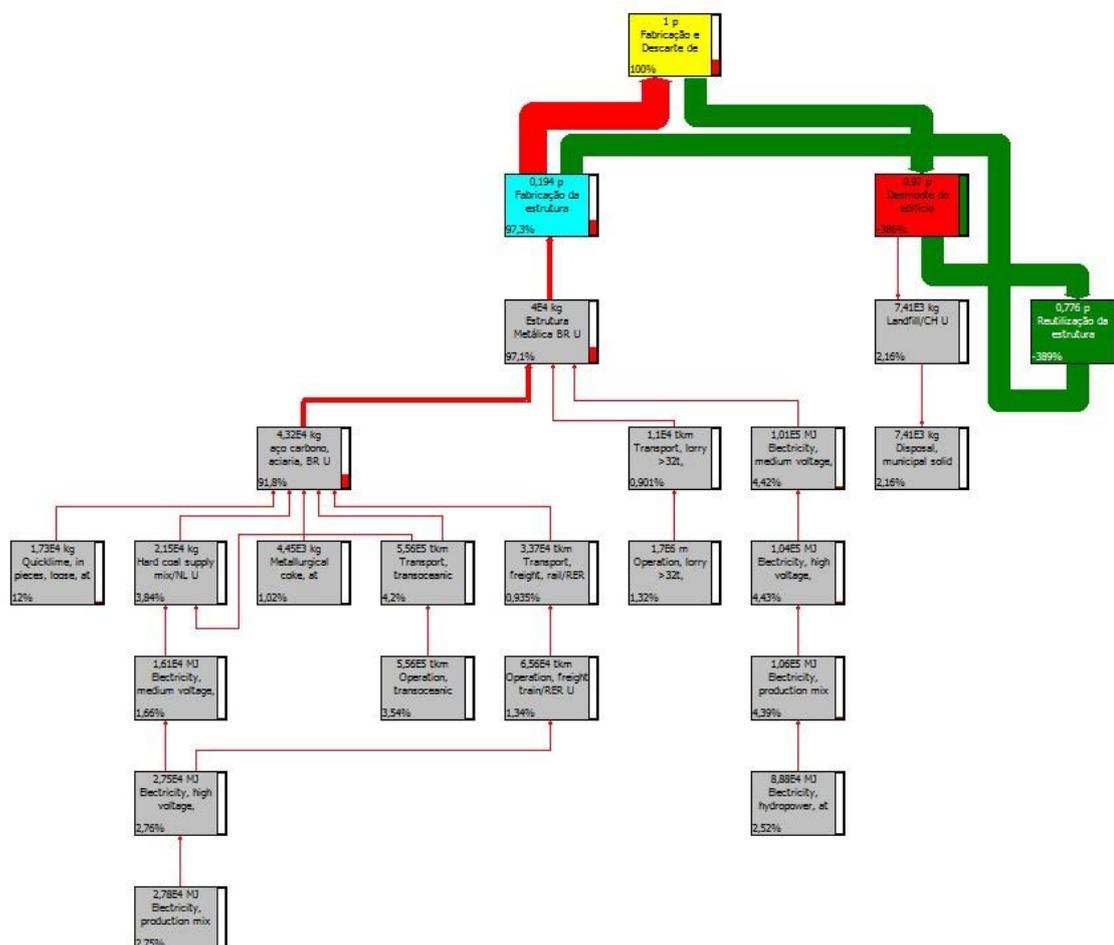


FIGURA 4.27 – Fluxo do impacto “potencial de aquecimento global” na etapa de fabricação.

A maior contribuição para o potencial de aquecimento global é a utilização de cal virgem no processo de fabricação do aço carbono.

4.1.7.3 Avaliação do Ciclo de Vida do Sistema Estrutural em Aço – obra e manutenção

Embora os impactos das etapas de obra e manutenção sejam irrisórios (4.28 e 4.29), sua investigação se justifica pelo fato de serem essas etapas de inteira responsabilidade da construção civil. Trata-se da possibilidade real de interferência do setor para minimizar

impactos ambientais do edifício. Assim, a FIG. 4.28 contém o resultado relativo das categorias de impacto para as etapas de obra e manutenção.

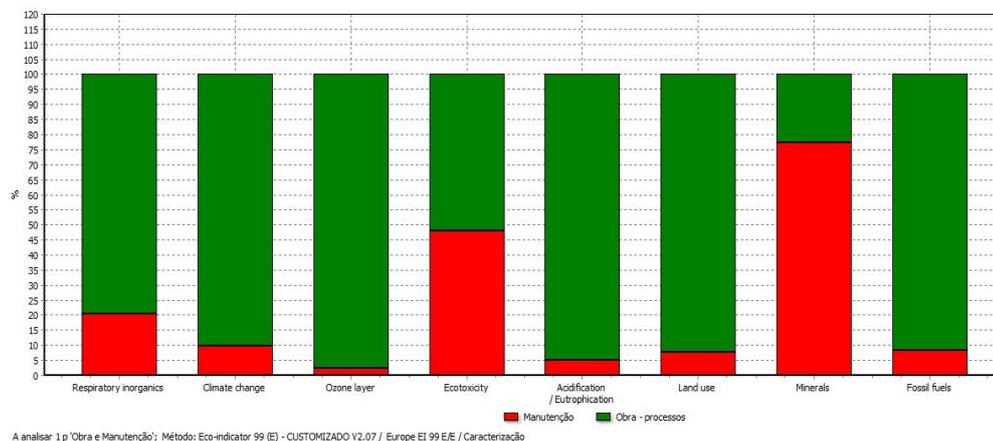


FIGURA 4.28 – Resultado da ACV das etapas de obra e manutenção do sistema construtivo em aço.

O resultado relativo apresentado na FIG. 4.28 mostra que a etapa de manutenção possui maior impacto de extração de minerais do que a etapa de obra e cargas de ecotoxicidade semelhantes. Nas demais categorias, a etapa de obra possui maior carga ambiental do que a etapa de manutenção. Na FIG. 4.29 é possível identificar quantitativamente quais categorias de impacto acontecem com maior peso.

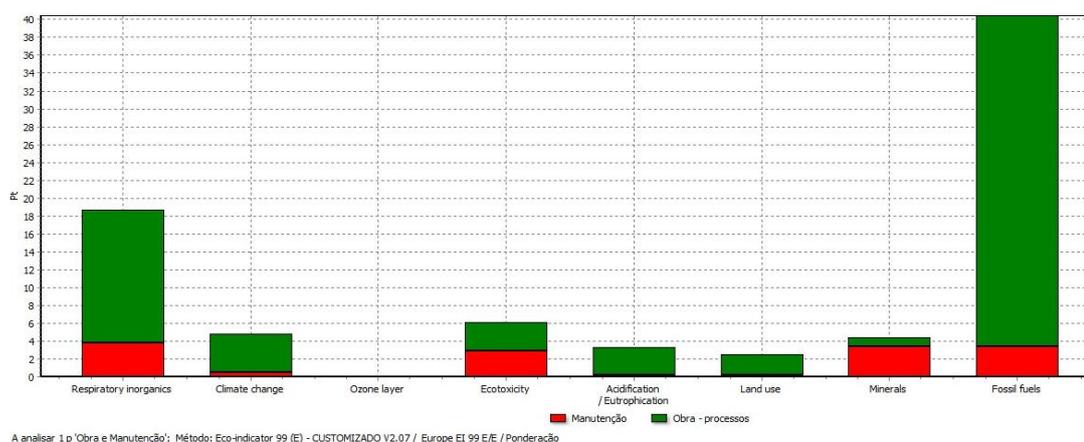


FIGURA 4.29 – Resultado da ACV das etapas de obra e manutenção do sistema construtivo em aço.

Através desse gráfico, compreende-se a carga ambiental que é atribuída aos combustíveis fósseis nessas etapas. Em segundo lugar, as atenções se voltam para “componentes inorgânicos inaláveis”.

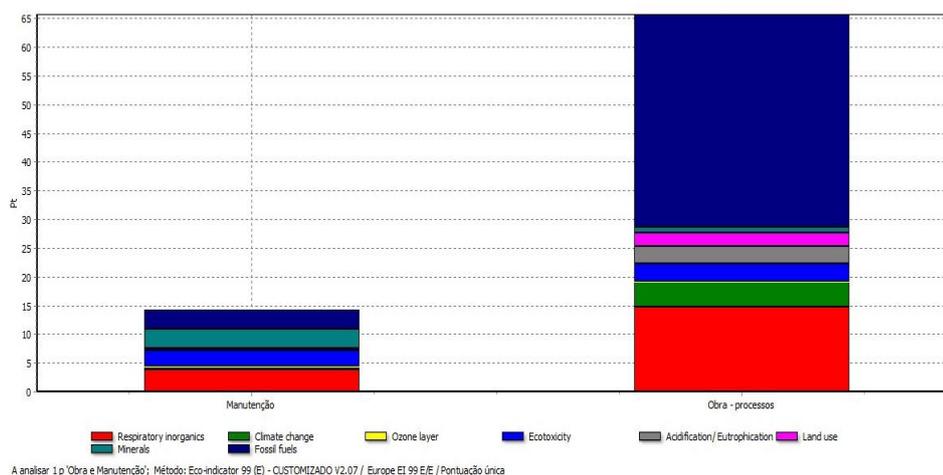


FIGURA 4.30 – Contribuição das categorias de impacto das etapas de obra e manutenção do sistema construtivo em aço.

A FIG. 4.30 apresenta a contribuição das categorias de impacto por etapa do ciclo de vida. É possível identificar, portanto, que as preocupações de melhoria ambiental devem-se voltar para a etapa de obra e suas categorias de impacto de “combustíveis fósseis” e “componentes inorgânicos na respiração”. Assim, cabe investigar os fluxos de cargas ambientais para essas categorias na etapa de obra.

A FIG. 4.31 apresenta as cargas de depleção de combustíveis fósseis na etapa de obra.

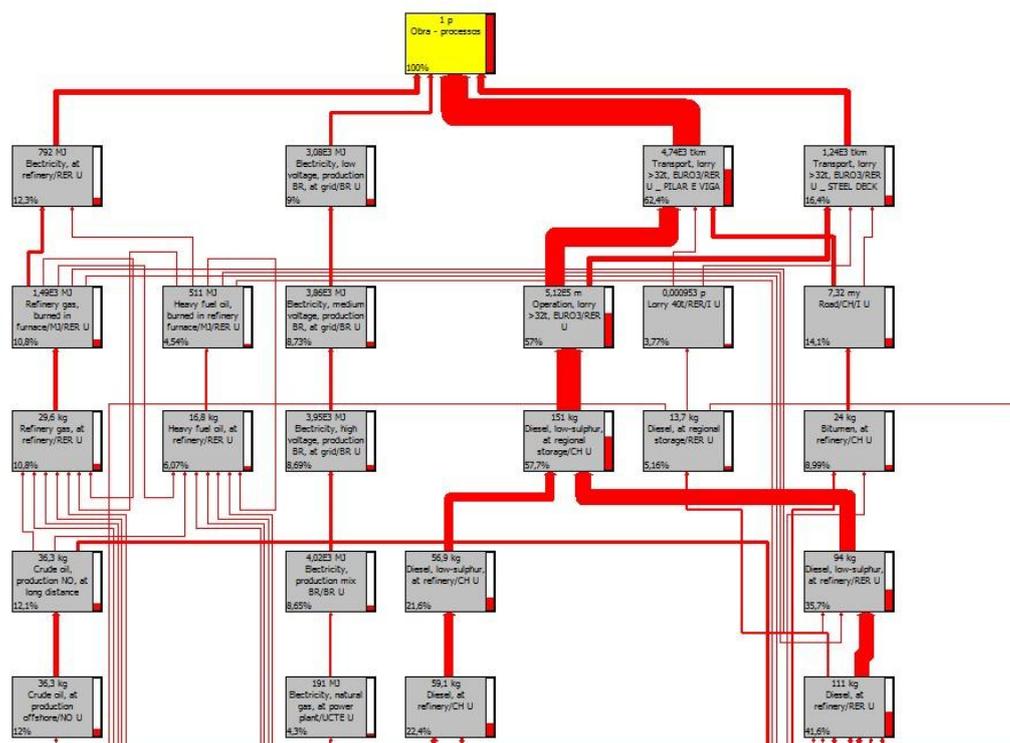


FIGURA 4.31 – Fluxo do impacto “depleção de combustíveis fósseis” na etapa de obra.

A depleção de combustíveis fósseis na etapa de obra deve-se ao transporte dos materiais da fábrica à obra, em especial o transporte de vigas e pilares e o tipo de combustível do transporte rodoviário – o diesel.

A FIG. 4.32 traz o resultado do fluxograma dos “componentes inorgânicos na respiração”.

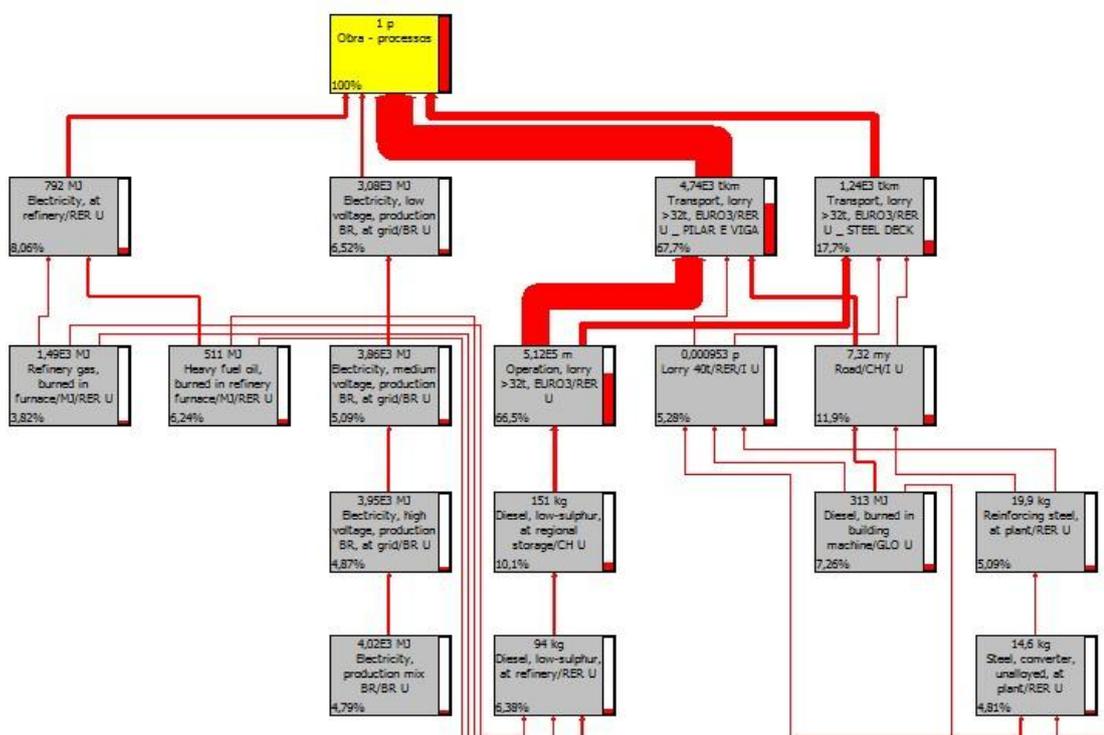


FIGURA 4.32 – Fluxo do impacto “componentes inorgânicos na respiração” na etapa de manutenção.

Da mesma forma que na categoria “depleção de combustíveis fósseis”, o transporte rodoviário é responsável pela maior carga ambiental dessa categoria (67,7% e 17,7%). Isso se deve ao uso do óleo diesel. Esse insumo também é responsável pelo impacto, mesmo que em menor escala, do uso do gerador de energia para a aplicação dos *stud bolts*, elementos de ligação entre as vigas e o deck em aço.

Na etapa de manutenção, para efeito de estudo, avaliou-se o fluxo da extração de minerais, que foi uma etapa em que a carga ambiental da manutenção ficou bem acima da obra. A FIG. 4.33 traz o fluxo da categoria de esgotamento de minerais para tal etapa.

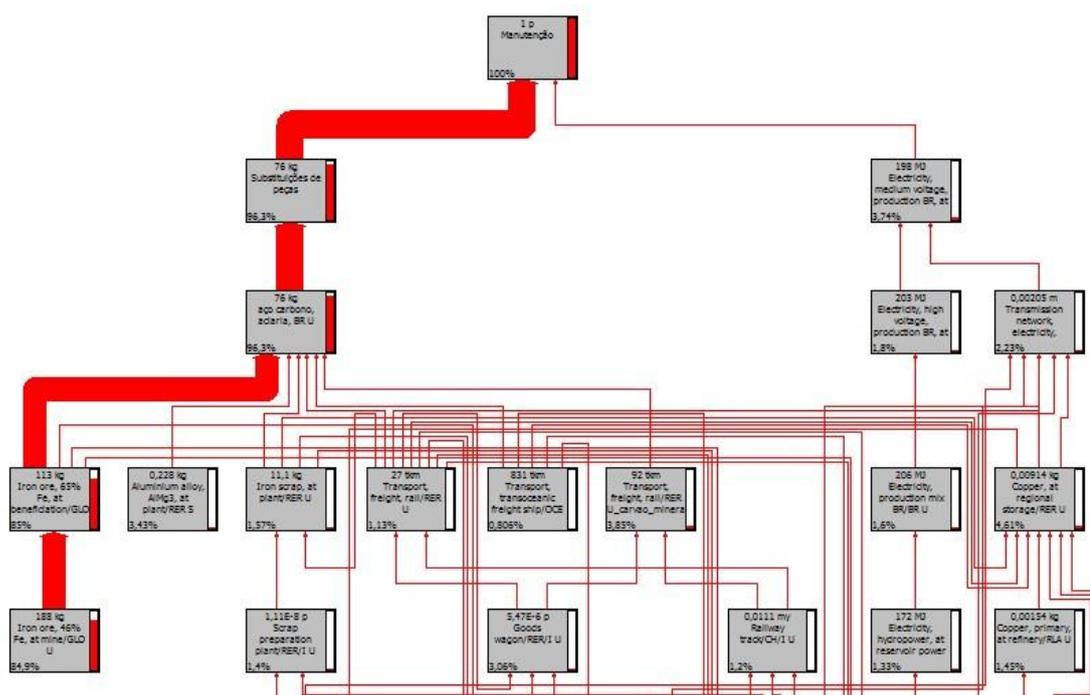


FIGURA 4.33 – Fluxo do impacto “esgotamento de minerais” na etapa de manutenção.

O fluxo apresentado na Figura 4.33 indica que o potencial por esgotamento de minerais para a manutenção deve-se à substituição de parafusos, que pode ser necessária ao longo de 40 anos de vida útil. Entretanto, isso corresponde a 1,51% da carga desses impactos no total do conjunto de obra e manutenção.

4.1.7.4 Considerações sobre a ACV do Sistema Estrutural em Aço

A maior carga ambiental do sistema estrutural em aço está na etapa de fabricação dos materiais para todas as categorias. As categorias onde o sistema mais impacta o ambiente são “depleção de combustíveis fósseis” e “componentes inorgânicos inaláveis”. Isso se deve, principalmente, à utilização do carvão mineral como matéria-prima e sua proveniência da Austrália.

Como substituições de matérias-primas da siderurgia não dizem respeito ao setor da construção civil, ficam apenas como um indicativo. Como contribuição do setor para a

minimização dos impactos ambientais, existe a preocupação principal com a etapa de obra no que diz respeito ao transporte de materiais, pois essa se mostrou a atividade de maior peso como potencial redutor de combustíveis fósseis. Como sugestão, deve-se verificar a possibilidade de utilização de outros modais de transporte ou a substituição do tipo de combustível, pois foi o diesel o responsável por este impacto. Entretanto, qualquer sugestão de alteração deve ser testada e comparada para que esforços não sejam desperdiçados. Como este trabalho propõe uma nova metodologia para ACV de sistemas construtivos utilizando o *Simapro*, esses estudos alternativos ficam como sugestão para trabalhos futuros.

4.1.8 Considerações finais

É possível utilizar a ACV como direcionador para melhorias de sistemas construtivos. Como cada edifício é único, e seu sistema construtivo específico, a avaliação a partir das etapas de obra, uso e manutenção são únicas para o edifício em questão e contribuem para a identificação e minimização dos impactos ambientais. Vários ensaios podem ser feitos em etapa de projeto a fim de obter uma solução menos impactante.

Questões de qualidade, que são abordadas cronologicamente antes das discussões sobre construção sustentável, são contempladas nesta metodologia. A compatibilidade entre materiais fica explícita na quantidade de resíduo gerado na obra. Dessa forma, estratégias de modulação são, de antemão, diretrizes de minimização de impactos ambientais. Além disso, é preciso que os componentes tenham, de preferência, durabilidades compatíveis com a vida útil mínima do sistema descrita pela ABNT NBR 15575: 2008.

Outro ponto que ficou evidente neste trabalho foi o impacto do transporte frente ao gasto energético. No caso do sistema estrutural em aço, as distâncias percorridas da fábrica à obra foram razoavelmente pequenas (no máximo 250km), e mesmo assim apresentaram maiores impactos que o gasto energético. Dessa forma, indicativos de

usos de materiais locais, ou até mesmo utilização de modais menos impactantes que o rodoviário, são apresentados.

Essas são contribuições reais que a construção civil pode dar às minimizações de impactos ambientais. Quanto aos materiais, apesar da dificuldade em interferir no processo de fabricação, o indicativo do processo ou insumo mais impactante pode ser de grande valia. Isso ocorre com a identificação do carvão mineral como um componente impactante, tanto pela atividade de mineração quanto pelo longo percurso feito desde a Austrália até o Brasil. Na análise da fabricação e do descarte dos materiais, foi nítida a importância da reutilização e da reciclagem como compensadores dos impactos de fabricação. Mais uma possibilidade de contribuição da construção civil: projetar para o desmonte, facilitar a separação de materiais e, sempre que possível, preferir materiais com potencial de reutilização e reciclagem, nesta ordem.

Outra contribuição dada por este trabalho é a possibilidade de inventariar materiais e processos a partir de procedimentos relativamente simples. Um deles é a consulta aos Relatórios Anuais de Atividades exigida na Instrução Normativa IBAMA, nº 10, de 17 de agosto de 2001 (TACHARD, 2010) para indústrias. A interpretação e a disponibilidade desses dados de acordo com padrões e unidades demandadas pelos inventários é uma tarefa difícil, mas, com a colaboração dos setores envolvidos, é possível abastecer uma ICV. Além disso, em etapa de obra, os dados a serem inseridos não são complexos, como consumo de energia, contabilização de resíduos e transporte de componentes. Mais uma vez, o uso do sistema estrutural em aço contribuiu para a viabilidade deste trabalho. Por ser um sistema industrializado, gera poucos resíduos na obra e os processos são mais facilmente contabilizados.

Outra consideração acerca da ACV do sistema estrutural em aço é sobre o resultado das categorias de impacto da AICV utilizada. Ressalta-se que essas categorias não estão adaptadas à realidade brasileira, e que sua utilização deveu-se à necessidade de indicar diretrizes de melhoria e estabelecer estratégias de identificação dos maiores contribuintes para cada tipo de impacto. Não se trata, portanto, de uma ACV pronta e definitiva. Entretanto, há que se considerar que alguns dados importantes neste trabalho

foram obtidos de inventários estrangeiros, tais como o transporte rodoviário, a reciclagem do aço e disposição em aterro sanitário. Dessa forma, deve ser considerada uma tentativa de inventariar uma situação real, a fim de testar um método, e não criar um inventário a ser incorporado aos bancos de dados nacionais. Pode ser, sim, uma base para incorporação futura de dados brasileiros.

As ferramentas BIM, citadas na revisão bibliográfica, possibilitarão, no futuro, trocas de informações sobre dimensões de projeto nos *softwares* CAD e propriedades diversas dos materiais no projeto, tais como as ACVs nos *softwares* específicos, como o *Simapro*. Essa já é a realidade inicial de alguns países, como Noruega (STRAND-HANSSSEN *et al.*, 2008) e Finlândia (HÅKKINEN e KIVINIEMI, 2008). No Brasil, as ferramentas BIM começam a se popularizar e incorporar propriedades estéticas e dimensionais dos materiais. Com o desenvolvimento dessas ferramentas e dos inventários de ciclo de vida de materiais da construção civil, a ACV poderá ser efetivamente uma ferramenta de seleção de sistemas construtivos.

Portanto, a metodologia aqui proposta pode contribuir para o processo de integração de uma ferramenta de seleção de sistemas construtivos a partir de critérios ambientais, incorporando esses critérios ambientais a uma ferramenta BIM. Esta é a ambição deste trabalho: a interpretação de um conhecimento científico que viabilize sua aplicação por profissionais de mercado. Estes, por sua vez, deverão atuar com vistas a uma construção civil menos impactante para o meio natural no futuro e, conscientes das consequências ambientais das escolhas feitas no presente.

5. CONCLUSÕES

A avaliação dos impactos ambientais de sistemas construtivos deve ser feita com vistas à melhoria da performance ambiental e não em busca de uma classificação da sustentabilidade do sistema. A metodologia MAASC proposta neste trabalho torna viável a análise dos impactos ambientais dos sistemas construtivos, identificando materiais e processos de maior impacto por etapa do ciclo de vida. A MAASC possibilita a análise ambiental do sistema mesmo na ausência de Inventários de Ciclo de Vida (ICV) dos materiais da construção civil no Brasil, pois propõe uma análise do sistema sem comparar materiais ou processos para um mesmo uso. Analisa-se o sistema construtivo com uma única opção e permite a identificação dos maiores impactos. Com isso é possível interferir nos processos mais impactantes. A partir da formação de inventários dos materiais mais comuns na Construção Civil será possível também utilizar a MAASC para comparar materiais, mediante a definição de unidades funcionais baseadas na norma de desempenho NBR 15575. Enquanto esses dados não são gerados é possível realizar análises com dados oficiais de relatórios ambientais anuais e acesso às informações de fornecedores.

A parametrização do *Simapro* permitiu a apresentação dos resultados da avaliação dos impactos ambientais por cada etapa do ciclo de vida das edificações, que são a fabricação, a obra, o uso e manutenção e o desmonte do sistema construtivo. Com essa possibilidade de análise, a ACV de sistemas construtivos brasileiros não depende de um

banco de dados de ICVs. O pensamento de ciclo de vida, contido na MAASC, é suficiente para que as etapas e processos mais impactantes sejam previstas, gerando alternativas para os mesmos. O objetivo não é graduar a “sustentabilidade” do sistema construtivo, mas identificar e possibilitar alterações de materiais e procedimentos visando um edifício de menor impacto ambiental.

A aplicação da metodologia ao sistema estrutural em aço, apresentado neste trabalho, comprova a eficácia da metodologia na identificação de etapas mais impactantes. Além disso, esclarece que algumas etapas são mais passíveis de intervenção para os atores da construção civil que outras. As etapas de obra e manutenção estão diretamente relacionadas ao gerenciamento da obra e do empreendimento em uso. Estes aspectos são inerentes aos profissionais da construção civil. A etapa de fabricação não está diretamente ligada à atuação do profissional da construção civil, mas ao avaliá-la junto à etapa de desmonte e destinação final, permite a intervenção desse profissional. Isso porque as possibilidades de destino final dos materiais indicam se uma nova fabricação do mesmo material pode partir do desmonte do sistema construtivo. Além disso, indica se a fabricação do material pode ser reduzida quando se pratica o desmonte para o reúso. As possibilidades de desmonte são dependentes da modulação do sistema construtivo e da separabilidade dos materiais, características que são garantidas em projeto.

É possível identificar, a partir da metodologia proposta, as etapas de maior impacto ambiental. No caso do sistema estrutural em aço indica a etapa de fabricação de componentes como a etapa de maior impacto. Este resultado ressalta a importância de minimizar impactos na fabricação de materiais e apresenta uma situação de pouca contribuição das etapas de obra e uso e manutenção do sistema construtivo no resultado geral.

Assim, a contribuição inédita deste trabalho é a criação de uma metodologia adaptada à situação brasileira de ICVs utilizando o *Simapro* que atende às demandas dos sistemas construtivos. Além disso, contribui para a construção de inventários de produtos da construção civil brasileiro, através do levantamento de dados de produção do aço, bem

como processos de beneficiamento do mesmo para uso na construção civil e seu comportamento ao longo da vida útil e descarte.

6. DIRECIONAMENTOS PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir das considerações levantadas neste trabalho, algumas possibilidades e necessidades de trabalho são descortinadas, tais como:

- Desenvolvimento de uma metodologia de AICV apropriada ao Brasil, que possa ser normalizada por regiões brasileiras, agrupadas em função de características climáticas ou de graus de industrialização;
- Construção de Inventários de Ciclo de Vida de insumos básicos e comuns aos diversos setores da sociedade, como dos diversos meios de transporte;
- Validação da MAASC em outros sistemas construtivos, tais como sistemas estruturais em concreto, sistema de vedação em bloco cerâmico;
- Proposição de uma padronização dos dados ambientais apresentados nos Relatórios Anuais dos fabricantes, com vistas ao abastecimento das ICVs brasileiras.
- Incentivo a existência de EPDs de materiais de construção, através das pontuações e classificações específicas, aliadas aos indicadores de sustentabilidade em prática no Brasil;
- Desenvolvimento de uma metodologia que vise o “projeto para o desmonte”,

partindo dos resultados obtidos da aplicação da MAASC aos sistemas construtivos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. F. et al. A teoria das restrições em um processo produtivo de fabricação de chapas de gesso acartonado no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24., 2004, Florianópolis. **Anais...** São Paulo: Abepro, 2004.

ANDERSON, J; STEELE, K; MUNDY, J; ALLBURY, K. BREEAM and Environmental Profiles – EPDs in the context of building level assessments. In: 13TH LCA CASE STUDY SYMPOSIUM; 2006 Dec 7-8; **Proceedings...** Stuttgart, Germany. Brussels; 2006.

ALLIONE, C. Building Component as an Industrial Product – Transferring Ecodesign Software to Architecture In: 13TH LCA CASE STUDY SYMPOSIUM; 2006 Dec 7-8; **Proceedings...** Stuttgart, Germany. Brussels; 2006.

ARQUITETURA & AÇO. Rio de Janeiro: CBCA, 2009, n. 17. Disponível em: <http://www.cbca-ibs.com.br/nsite/site/acervo_item_listar_revista_aco.asp#174>. Acesso em: 07 jun. 2009.

ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS AUTOMÁTICAS DE

VIDRO. **ABIVIDRO**. Disponível em: <www.abividro.org.br>. Acesso em: 07 jun. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14020**: rótulos e declarações ambientais: princípios gerais. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14041**: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: definição de objetivos, escopo e inventário. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14042**: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: avaliação de impacto do ciclo de vida. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14043**: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: interpretação do ciclo de vida. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: edifícios habitacionais de até cinco pavimentos: desempenho: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2008.

ATHENA Software. Ontário: Penélope Client Information Managment, 2008. 1 CD-ROM.

BARATELLA, P. R. M.; SILVA, V. G. I. Indicadores de sustentabilidade de edifícios:

desenvolvimento e breve análise do contexto atual brasileiro. IN: SB 10 BRAZIL – INSTRUMENTING CHANGE. 2010. Nov. 8-10; **Anais ...** São Paulo, BR. São Paulo, 2010.

BEES Software. Versão 4.0. [S.l.]: NIST, 2007. Disponível em: <<http://www.bfrl.nist.gov/oe/software/bees/bees.html>>. Acesso em: 07 jun. 2009.

BORGES, C. A. M. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. 2008. 263p.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BRAGANÇA, L.; MATEUS, R;KOUKKARI, H. Perspectives of building sustainability assessment. In: 2008 WORLD SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE. 2008. Sep 21-25; **Proceedings ...** Melbourne, AU. Melbourne, 2008.

CALDEIRA-PIRES, A.; FERRÃO, P.; CARRANCA, J. Life cycle analysis as a Business Strategy for the Process Industry. **Revista Brasileira de Ciências Mecânicas**. Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 322-331, 1999.

CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Guia de Sustentabilidade na Construção**. Belo Horizonte: FIEMG, 2008. 60p.

CAMPBELL, Steve. **Lead by example walls and cieling**. Posted on 03 may 2003. Disponível em: <http://www.wconline.com/CDA/ArticleInformation/features/BNP__Features>. Acesso em: 07 jun. 2009.

CARSON, R. **Silent spring**. 40th anniversary edition. New York: Mariner Books, 2002.

CARVALHO. J. **Análise de ciclo de vida ambiental aplicada à construção civil: estudo de caso: comparação entre cimentos Portland com adição de resíduos**. 2002. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CARVALHO, P. G. M. Potencial poluidor e intensidade de energia elétrica: a construção de indicadores ambientais a partir da PIM-PF (IBGE). In: ENCONTRO NACIONAL DA ECOECO, 4., 2001, Belém, 2001.

CARVALHO, M. B. M de. Entrevista Armando Caldeira Pires. **Sustentabilidade em Debate**. Brasília. v.1, n.1. p. 127-129. 2010. Disponível em <<http://seer.bce.unb.br/index.php/sust/issue/view/107>>. Acesso: 20 Set. 2011.

COSTA, M. M. Princípios de ecologia industrial aplicados à sustentabilidade ambiental e aos sistemas de produção de aço. 2002. 257p.. Tese - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2002.

CHEHEBE, José Ribamar Brasil. **Análise do ciclo de vida de produtos**: ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

DAMINELI, Bruno L. ; KEMEID, Fernanda M. ; AGUIAR, Patricia S. ; JOHN, Vanderley M. . Measuring the eco-efficiency of cement use. **Cement & Concrete Composites**, p. 555-562, 2010.

DIAS, L. A. M. **Estruturas de aço**: conceitos, técnicas e linguagem. 2. ed. São Paulo: Zigurate, 1998.

DICKIE, I.; HOWARD, N. Assessing environmental impacts of construction: industry consensus, BREEAM and UK ecopoints. **BRE Digest 446**. BRE Centre for Sustainable Construction. 12p. 2000.

ECO-INDICATOR 99. Eco-indicator 99 impact assessment method for LCA. Disponível em: < <http://www.pre.nl/content/eco-indicator-99>>. Access: 20 Set. 2011.

ECOINVENT, 2009. Ecoinvent History, Disponível em: <<http://www.ecoinvent.ch/en/index.htm>>. Access: 20 Set. 2011.

EDWARDS, S.; BENNETT, P. Construction products and life-cycle thinking. **Industry and Environment**, Paris, v. 26, n. 2-3, p. 57-61, apr.-sept. 2003. Disponível em: <<http://www.uneptie.org/media/review/vol26no2-3/005-098.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2009.

Environmental Protection Agency. Disponível em: < <http://www.epa.gov/>>. Acesso em: 07 jun. 2009.

FARIA, Eduardo Costa. Logística de abastecimento de carvão mineral importado para o sistema Usiminas. **Tecnologia em Metalurgia e Materiais**, São Paulo, v.3, n.3, p. 12-15, jan.-mar. 2007.

FAVA, J. *et al.* **A technical framework for life-cycle assessment**. Washignton: SOCIETY FOR ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY, 1991.

FERREIRA, Marcelo de Araújo. Sistemas construtivos inovadores. Florianópolis: Ufscar, [200-]. Disponível em: http://www.dptoce.ufba.br/construcao1_arquivos/08%20Sistemas%20construtivos%20inovadores.pdf>. Acesso em: 25 maio 2009.

FERREIRA, E. A. M. ; FREIRE, Tiago Maia . Diretrizes para seleção e avaliação de sistemas construtivos com base nos princípios da produção enxuta e da produção limpa.. In: III WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2003.

FOSSATI, Michele. **Metodologia para avaliação da sustentabilidade de projeto de edifícios**: o caso de escritórios em Florianópolis. 2008. 282 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

FONTINELLI, G. A. A.; UGAYA, C. M. L. Avaliação Social do Ciclo de Vida de

produto: Metodologia para desenvolvimento de indicadores. In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DE CICLO DE VIDA DE PRODUTOS E SERVIÇOS – Colaborando com decisões sustentáveis; 2010. Nov. 24-26; Florianópolis, BR. **Anais ...** Florianópolis: UFSC, 2010.

FERREIRA, S. R. L. **O pensamento do ciclo de vida como suporte à gestão dos resíduos sólidos da construção e demolição: exemplo no Distrito Federal e estudos de casos de sucessos no Brasil e no exterior.** 2009. 192 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

FULLANA, P. ; GAZULLA, C.; PAOLO, F.; SAMITIER, S. **Type I and type III (EPD) ecolabelling in public policy: the example of Catalonia and building sector.** In: 13TH LCA CASE STUDY SYMPOSIUM; 2006 Dec 7-8; **Proceedings...** Stuttgart, Germany. Brussels; 2006.

GARCIA, D. B. M. **Análise do isolamento sonoro de sistemas construtivos residenciais estruturados em aço.** 2004. 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

GERVÁSIO, Helena. Comparative housing case study (steel vs. concrete) through a quantitative life cycle approach. In: WORLD STEEL CONSTRUCTION COUNCIL, 2nd, 2007, Paris. Disponível em: <http://www.promozioneacciaio.it/ambiente/pdf/wsccl/steel_concrete.pdf> . Acesso em: 07 jun. 2009.

GERVÁSIO, H.; SILVA, L. S. A sustentabilidade do aço. In: CONGRESSO DE CONSTRUÇÃO METÁLICA E MISTA, 5., 2005, Porto. **Resumos.** Porto: FCTUC, 2005.

GERVASIO, H.; SILVA, L. S.; MURTINHO, V.; SANTOS, P.; MATEUS, D. **Affordable Houses: a sustainable concept for a light weight steel dwelling.** Proceedings of Portugal SB10, Sustainable Building Affordable for all; 2010 Mar 17-19; Vilamoura, PT. Lisboa: Multicomp; 2010.

GOEDKOOP, Mark et al. **Simapro database manual: methods library**. The Netherlands: Pré Consultants, 2008.

GRIGOLETTI, Giane de Campos. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do Estado do Rio Grande do Sul**. 2001. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GHUMRA, S. Life cycle assessment based tool for civil infrastructure projects. **Innovation and Research Focus**, Issue No: 77, Mai 2009, ICE, Thomas Telford, London, 2009.

GUIA METAL, 2011. Disponível em <<http://www.guiametal.com.br/?noticia=444/usiminas-assina-contratos-com-a-vale-para-transporte-de-aco-e-minerio-de-ferro>>. Acesso: 20 Set. 2011.

HAJEK, P.; FIALA, C.; MUKAROVSKY, J. **Material effective structures** – the way towards sustainable buildings. In: 2008 WORLD SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE. 2008. Sep 21-25; **Proceedings ...** Melbourne, AU. Melbourne, 2008.

HÄKKINEN, T.; KIVINIEMI, A. **Sustainable building an BIM**. In: 2008 WORLD SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE. 2008. Sep 21-25; **Proceedings ...** Melbourne, AU. Melbourne, 2008.

HUMMEL, Hans-Ulrich. Recycling von Gipsplatten. BEITRAG ZUM DARMSTÄDTER MASSIVBAU-SEMINAR, 18., 1997. Disponível em: <http://www.bim.de/public/AddFrame.asp?url_left=/Doku_Inhalt.htm&url_main=/Public/BVGips/da asemhummel.htm>. Acesso em: 07 jun. 2009.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Relatório de Sustentabilidade 2010. 70p. Disponível em <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/relatorio.asp>>. Acesso: 20

Set. 2011.

IMPACTO ambiental: Brasil acompanha interesse internacional em ACV há 12 anos: país precisa fazer inventário do ciclo de vida de seus produtos. **Boletim Inovação Unicamp**, Campinas, 10 out. 2005. Disponível em: <<http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-acv2.shtml>>. Acesso em: 20 mar. 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 6241: **Performance standards in buildings: principles for their preparation**. London, 1984. 12 p.

IPCC, 2009. Emission Inventory Guidebook. 1 Set. 2009.

JOHN, V.M.; AGOPYAN, V. Sustainability criteria for the selection of materials and components: a developing world view. [S.l.: s.n.], 2005.

JOHN, V. M. On the sustainability of concrete. **Industry and Environment**, Paris, v. 26, n.2-3, p. 62-63, abr. 2003. Disponível em: <<http://www.uneptie.org/media/review/archives.htm>>. Acesso em: 13 mar. 2009.

JOHN, V. M.; OLIVEIRA, D. P. Levantamento do Estado da Arte: Seleção de materiais. In: Habitação Mais Sustentável. **Projeto: Tecnologias para construção habitacional mais sustentável**, São Paulo, 2007.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 113p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. 2000.

JOLLIET, O. et al. Impact 2002+: a new Life cycle impact assessment methodology. **Int. J. LCA**, Springer, v. 10, n. 6, p.324-330, 2003.

KNAUF DO BRASIL. **Catálogo de produtos**. Disponível em: <www.knauf.com.br>. Acesso em: 06 jun. 2009.

KULAY, L., A., HANSEN, A., P., SILVA, G., A. Inventário do Ciclo de Vida de porcelanato obtido via rota úmida de processamento In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DE CICLO DE VIDA DE PRODUTOS E SERVIÇOS – Colaborando com decisões sustentáveis; 2010. Nov. 24-26; Florianópolis, BR. **Anais ...** Florianópolis: UFSC, 2010.

KUS, H.; EDIS, E.; OZKAN, E. Comparative environmental assessment of masonry wall units regarding manufacturing process. In: 2008 WORLD SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE. 2008. Sep 21-25; **Proceedings ...** Melbourne, AU. Melbourne, 2008.

LAVAGNA, M. EPD use in building assessment to support design strategies. In: 13TH LCA CASE STUDY SYMPOSIUM; 2006 Dec 7-8; **Proceedings...** Stuttgart, Germany. Brussels; 2006.

LIMA, Flávio Lúcio Nunes de. **Proposição de metodologia de avaliação do impacto ambiental no desenvolvimento de projetos arquitetônicos**. 2006. 138 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

LIPPIATT, Bárbara C. **BEES 4.0: building for environment and economic sustainability technical manual and user guide**. [S.l]: NITS, 2007.

LIPPIATT, B. C.; HELGESON, J. F. **NIST BusiBEES metrics and tools for green buildings**. In: 2008 WORLD SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE. 2008. Sep 21-25; **Proceedings ...** Melbourne, AU. Melbourne, 2008.

MANFREDINI, Constance. **Impactos ambientais causados pelas indústrias de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul**. 2003. 180 f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto alegre, 2003.

MARVIN, Emma. Gypsum wallboard recycling and reuse opportunities in the state of Vermont. Vermont: Vermont Agency of Natural Resources, 2000.

MARZULLO, R. C. M.; MATAI, P. H. L. S. Pegada hídrica da água tratada: necessidade de água para obtenção de água. In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DE CICLO DE VIDA DE PRODUTOS E SERVIÇOS – Colaborando com decisões sustentáveis; 2010. Nov. 24-26; Florianópolis, BR. **Anais ...** Florianópolis: UFSC, 2010.

MASA, U., I.; ROUWETTE, R.; CARRE, A.; GRANT, T. A framework for understanding the environmental impact of buildings in Australia. In: 2008 WORLD SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE. 2008. Sep 21-25; **Proceedings ...** Melbourne, AU. Melbourne, 2008.

MASTELLA, Deise Viana. Comparação entre os processos de produção de blocos cerâmicos e de concreto para alvenaria estrutural, através da análise do ciclo de vida. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFSC, Florianópolis, 2002.

MATEUS, Ricardo Filipe Mesquita da Silva. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção**. 2004. 288 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Minho; Guimarães, 2004.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **Cradle to cradle**: remaking the way we make things. New York: North Point Press, 2002.

_____. Towards a sustaining architecture for the 21st century: the promise of cradle-to-cradle design. In: **Industry and Environment**. Paris, v. 26, n. 2-3, p. 13- 16, apr.-sept., 2003.

METODOLOGIA padrão para elaboração de inventários de ciclo de vida da indústria

brasileira: documento consolidado. Disponível em:
<http://acv.ibict.br/publicacoes/documentos-tecnicos/MetodologiaPadraoElaboracaoInventarios%20-%20DocumentoPrincipal_AneXos.pdf>. Acesso em: 20 set. 2011.

MUNIZ, V. C. F.; SILVA, G. A. Avaliação Do Ciclo De Vida Consequencial – Visão Do Gp2. In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DE CICLO DE VIDA DE PRODUTOS E SERVIÇOS – Colaborando com decisões sustentáveis; 2010. Nov. 24-26; Florianópolis, BR. **Anais ...** Florianópolis: UFSC, 2010.

MORAIS, A. E.; SPOSTO, R. M.. Revestimento cerâmico e de granito: estudo preliminar comparativo com foco na energia incorporada. In: ENCONTRO NACIONAL DO AMBIENTE CONSTRUÍDO; ENTAC 2010. Out. 6-8; Canela, BR. **Anais ...** Canela, 2010.

MONICH, C. R.; TAVARES, S. F. Energia e CO₂ embutidos na fabricação dos materiais de construção: panorama atual no Brasil e exterior. In: ENCONTRO NACIONAL DO AMBIENTE CONSTRUÍDO; ENTAC 2010. Out. 6-8; Canela, BR. **Anais ...** Canela, 2010.

MURRAY, C.J.L.; LOPEZ A.D. **The global burden of Disease**: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020. Cambridge MA, Harvard University Press, USA, 1996.

NASCIMENTO, Otávio Luiz. **Alvenarias**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBS; CBCA, 2002. (Manual de construção em aço).

NASCIMENTO, T. C. F. **Gerenciamento de resíduos sólidos da indústria de galvanização**. 2006. 162 f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro; Rio de Janeiro, 2006.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (NREL): U.S. Life-Cycle

Inventory Database. 2005. Golden, CO. Disponível em :
<<http://www.nrel.gov/lci/database>>. Acesso: 20 Set. 2011.

NATIONAL RISK MANAGEMENT RESEARCH LABORATORY. **TRACI**: the Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impact: user's guide and system documentation. Cincinnati, Environmental Protection Agency, 2003.

NUNES, K. R. A.; SCHEBEK, L.; VALLE, R. ACV de alternativas para manejo e destinação de resíduos da construção civil na cidade do Rio de Janeiro. In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DE CICLO DE VIDA DE PRODUTOS E SERVIÇOS – Colaborando com decisões sustentáveis; 2010. Nov. 24-26; Florianópolis, BR. **Anais ...** Florianópolis: UFSC, 2010.

PEREIRA, S. W.; SOARES, S. R. Inventário da produção de pisos cerâmicos para a avaliação do ciclo de vida. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL: QUALIDADE AMBIENTAL E RESPONSABILIDADE SOCIAL, 4., 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABES, 2004.

PEREZ, N.; BAIRD, G.; BUCHANAN, A. The influence of construction materials on the life cycle energy use and carbon dioxide emission of medium sized commercial buildings. In: 2008 WORLD SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE. 2008. Sep 21-25; **Proceedings ...** Melbourne, AU. Melbourne, 2008.

PODESTÁ, Sylvio Emrich. **Campus Lagoa Piau**. 2006. Belo Horizonte, MG.

OLIVEIRA, Daniel Pinho de. **Contribuições para a avaliação ambiental de subsistemas de cobertura em habitações de interesse social**. 2005. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

OLIVEIRA, Katia Schoeps de. **Avaliação do ciclo de vida das telhas ecológicas**. 2004. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) - Universidade de São

Paulo, São Paulo, 2004.

OSSET, P; GHOUMIDH, A.; VIAL, E.; HENRY, EM.; MARACHE, M.; CHAZAL, C. **Comparative evaluations of buildings using EPD**. In: 13TH LCA CASE STUDY SYMPOSIUM; 2006 Dec 7-8; **Proceedings...** Stuttgart, Germany. Brussels; 2006.

ROCHA, Marcius Hollanda Pereira da. Gestão de variabilidade em construção e o conceito de sistemas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17., 1997, Gramado. **Anais...** Gramado: UFSC, 1997. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1997_T3110.PDF>. Acesso em: 17 jun. 2009.

ROZENDO, S. L. Building projects to generate EPDs: major challenges in Brazilian market. In: 13TH LCA CASE STUDY SYMPOSIUM; 2006 Dec 7-8; **Proceedings...** Stuttgart, Germany. Brussels; 2006.

SAADE, M. R. M.; OLIVEIRA, B. M.; SILVA, M. S. Aplicação da análise do ciclo de vida na construção civil: considerações sobre alocação de impactos entre o aço e as escórias siderúrgicas. IN: SB 10 BRAZIL – INSTRUMENTING CHANGE. 2010. Nov. 8-10; **Anais ...** São Paulo, BR. São Paulo, 2010.

SATO, M.; MURAKAMI, S.; IKAGA, T.; TAKAI, H. Incorporation of LCCO2 assessment to CASBEE. In: 2008 WORLD SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE. 2008. Sep 21-25; **Proceedings ...** Melbourne, AU. Melbourne, 2008.

SATTLER, M. A. **Habitacões de baixo custo mais sustentáveis**: a casa Alvorada e o Centro Experimental de tecnologias habitacionais sustentáveis. Porto Alegre: ANTAC, 2007. (Coleção Habitare, v.1)

SECRETARIA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. “Teoria e práticas em construções sustentáveis no Brasil”. Disponível em <<http://www.iclei.org/index.php?id=11591>>. Acesso: 20 Set. 2011.

SIGNORETTI, V. T. Controle das emissões de NO_x, SO_x e Metais pesados quando se utilizam combustíveis alternativos e de alto teor de enxofre na indústria de cimento. 2008. 272 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Itajubá, 2008.

SILVA, Andrea Santos. Sistema Brasileiro de Respostas Técnicas: Qual o processo de fabricação de blocos leves para construção do tipo sílico-calcário. RETEC. Ministério da Ciência e Tecnologia. 15 abr. 2005. Disponível em: < <http://sbrtv1.ibict.br/upload/sbrt601.pdf?PHPSESSID=eacfd0394bf9cff61879b31265f473ef>>. Acesso em: 07 jun. 2009.

SILVA, M. G.; SILVA, V. G.; AGOPYAN, V. Avaliação do desempenho ambiental de edifícios: estágio atual e perspectivas para desenvolvimento no Brasil. **Revista Engenharia, Ciência & Tecnologia**, Vitória, v. 4, n. 3, p. 3-8, 2001.

SILVA, M. G. et al. Use of steel-making co-products and ornamental stone cutting waste in the production of low impact masonry components. In: WORLD SUSTAINABLE ME BUILDING CONFERENCE, 2008, Melbourne. **Proceedings...** Melbourne: W. S. B. C., 2008. v. 2. p. 402-409.

SILVA, G. A.; TARALLI, G.; MARTINS, A. I. S. Identificação de aspectos e perigos e avaliação de impactos e danos para a implantação de um sistema integrado de gestão. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1/2, p. 73-81, 2001.

SILVA, Vanessa Gomes. **Avaliação de sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. 2003. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA, J. G. da. **Análise do ciclo de vida de tijolos prensados de escória de altoforno**. 2005. Dissertação (mestrado), CT UFES, Vitória, 2005.

SILVA, Gil Anderi da. Ontologia de avaliação do ciclo de vida: em busca de definições consensuais, 2, 2010, Florianópolis. In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DE CICLO DE VIDA DE PRODUTOS E SERVIÇOS – Colaborando com decisões sustentáveis; 2010. Nov. 24-26; Florianópolis, BR. **Anais ...** Florianópolis: UFSC, 2010.

SIMAPRO Software. Versão 7.1. Amersfoort: Pré Consultants, 2008. 1 CD-ROM.

SOARES, S. R.; PEREIRA, S. W.; BREITENBACH, F. E. Análise do ciclo de vida de produtos cerâmicos da indústria de construção civil. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2002, Cancun. [**Anais...**] Cancun: [s.n], 2002.

SOARES, Sebastião Roberto; SOUZA, Danielle Maia de; PEREIRA, Sibeli Warmiling. A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. In: SATTLER, Miguel Aloysio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay (Org.). **Construção e meio ambiente**. 1. ed. Porto Alegre: ANTAC, 2006. p. 96-127. (Coleção Habitare, v.7)

SOUZA, D. M. de; SOARES, S. R.; SOUSA, S. R. **A Life Cycle Impact Assessment Method for the Brazilian Context**. CILCA – Conferência Internacional de Avaliação do Ciclo de Vida, 2007. [CD-Rom]. Fev. 2007. São Paulo – SP.

SOLUÇÕES multiuso. **Arquitetura & Aço**, Rio de Janeiro, n. 17, 17 mar. 2009.

SONNEMANN, G.; CASTELLS, F.; SCHUHMACHER, M. **Integrated life cycle and risk: assessment for industrial processes**. London: Lewis Publishers, 2003.

SPERB, M. **Avaliação de tipologias habitacionais a partir da caracterização de impactos ambientais relacionados a materiais de construção**. 2000. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de**

edificações residenciais brasileiras. 2006. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TACHARD, A. L. R. S. Desenvolvimento de fatores de normalização de impactos ambientais regionais para Avaliação do Ciclo de Vida de produtos no estado de São Paulo. 2010. 165 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

TAKEDA, A.; TACHARD, A. L.; OMETTO, A. R. Levantamento de métodos de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV) mais recorrentes em estudos. In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DE CICLO DE VIDA DE PRODUTOS E SERVIÇOS – Colaborando com decisões sustentáveis; 2010. Nov. 24-26; Florianópolis, BR. **Anais ...** Florianópolis: UFSC, 2010.

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

UNEP. **Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products.** UNEP/SETAC Life Cycle Initiative at UNEP, CIRAIG, FAQDD and the Belgium Federal Public Planning Service. Publicação 2009. Disponível em: <<http://lcinitiative.unep.fr/>>. Acesso em 22/07/2011.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Compilation of air pollutant emission factors. Volume I: Stationary Point and Area Sources.** Office of Air Quality Planning and Standards. Office os Air and Radiation. jan. 1995. 95p.

USIMINAS, Relatório Anual 2010. 167 p. Disponível em <http://www.usiminas.com/irj/servlet/prt/portal/prtroot/pcd!3aportal_content!2fusiminas!2fcomum!2fconteudo!2fiviews!2fbr.com.su.i.i.view.JAI_iView_Publica_do_KM/prtl_doc/corporativo/RelatorioAnual/pt/2010/RelatorioAnual/RelatorioAnual2010.pdf> Acesso: 20 Set. 2011.

VARE, S. Product information and life cycle building design. In: 13TH LCA CASE STUDY SYMPOSIUM; 2006 Dec 7-8; **Proceedings...** Stuttgart, Germany. Brussels; 2006.

VILLAREAL, L. R.; LUQUE, G. P.; MEDRANO, M.; FABRA, L. F. C.; BURGOS, A. C. Material flow analysis for reaching a sustainable model of the building sector. In: PORTUGAL SB10, SUSTAINABLE BUILDING AFFORDABLE FOR ALL; 2010. Mar 17-19; Vilamoura, PT. **Proceedings...** Lisboa: Multicomp; 2010.

WEIDLE, Érico P. S. **Sistemas construtivos na programação arquitetônica de edifícios de saúde.** Brasília: Ministério da Saúde, 1995. (Saúde & tecnologia: textos de apoio à programação física dos estabelecimentos assistenciais de saúde)

WONG, F. Y.; AMATO, A.; HILLS, P. Benchmarking of the health performance of residential buildings for a combined life cycle assessment, life cycle costing and health impact assessment tool for public housing in Hong Kong. In: 2008 WORLD SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE. 2008. Sep 21-25; **Proceedings...** Melbourne, AU. Melbourne, 2008.

YUBA, Andrea Naguissa. Análise da pluridimensionalidade da sustentabilidade da cadeia produtiva de componentes construtivos de madeira de plantio florestais. 2005. 230 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

ZYGOMALAS, I.; EFTHYMIU, E.; BANIOPOULOS, C.C. Life Cycle Inventory (LCI) analysis of structural steel members for the environmental impact assessment of steel buildings. In: PORTUGAL SB10, SUSTAINABLE BUILDING AFFORDABLE FOR ALL; 2010 Mar 17-19; Vilamoura, PT. **Proceedings...** Lisboa: Multicomp; 2010.

ZHU, Tao. **Life cycle assessment in designing greener semiconductor.** 2004. 132 f. Thesis (Master of Science) – University of Arizona, Tucson, 2004.

8. ANEXOS

8.1 Anexo 2 – Parametrização do *software Simapro*

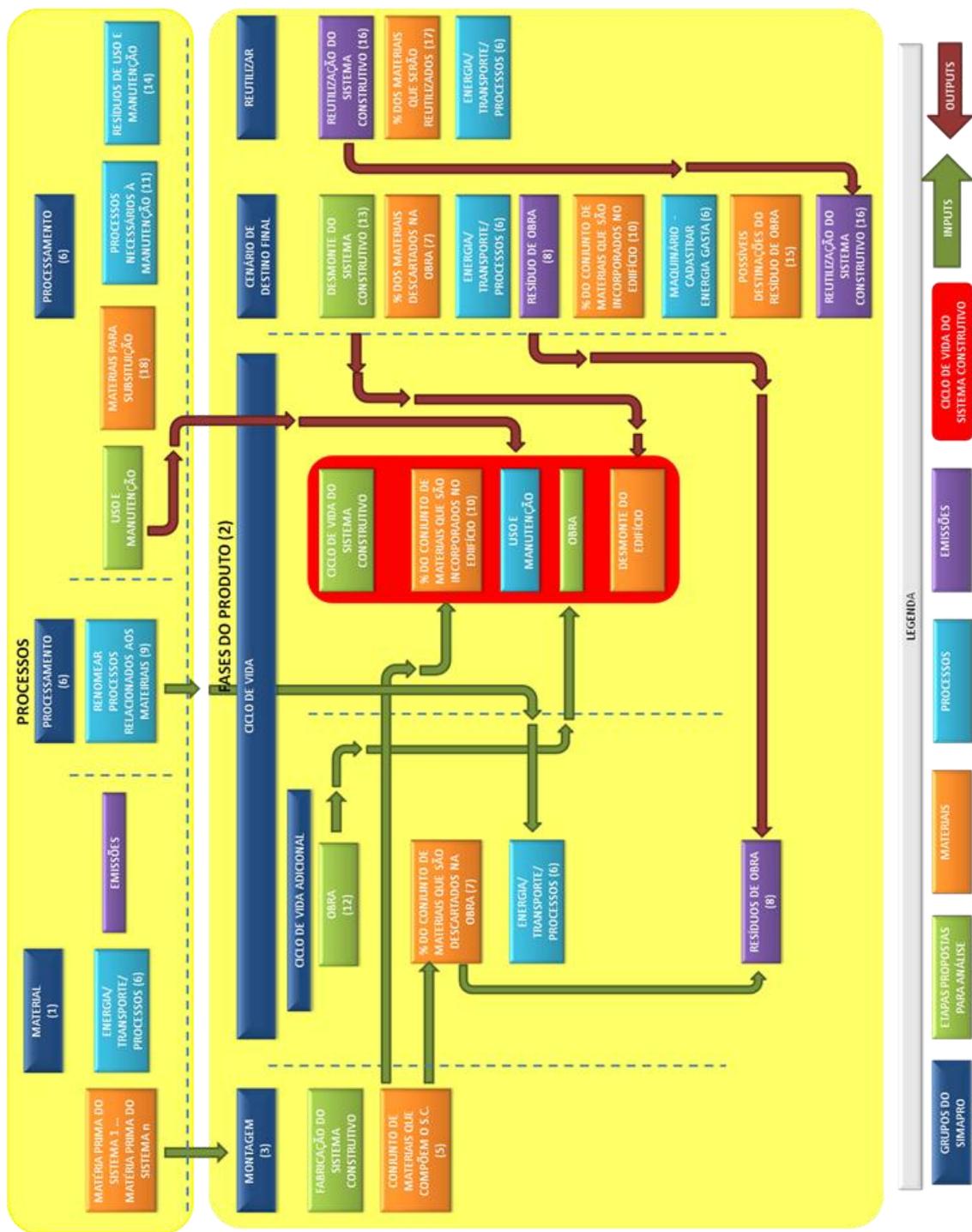


Figura 4.6- Parametrização de entradas de dados das etapas Fabricação, Obra, Uso/ Manutenção e Desmonte do Edifício.

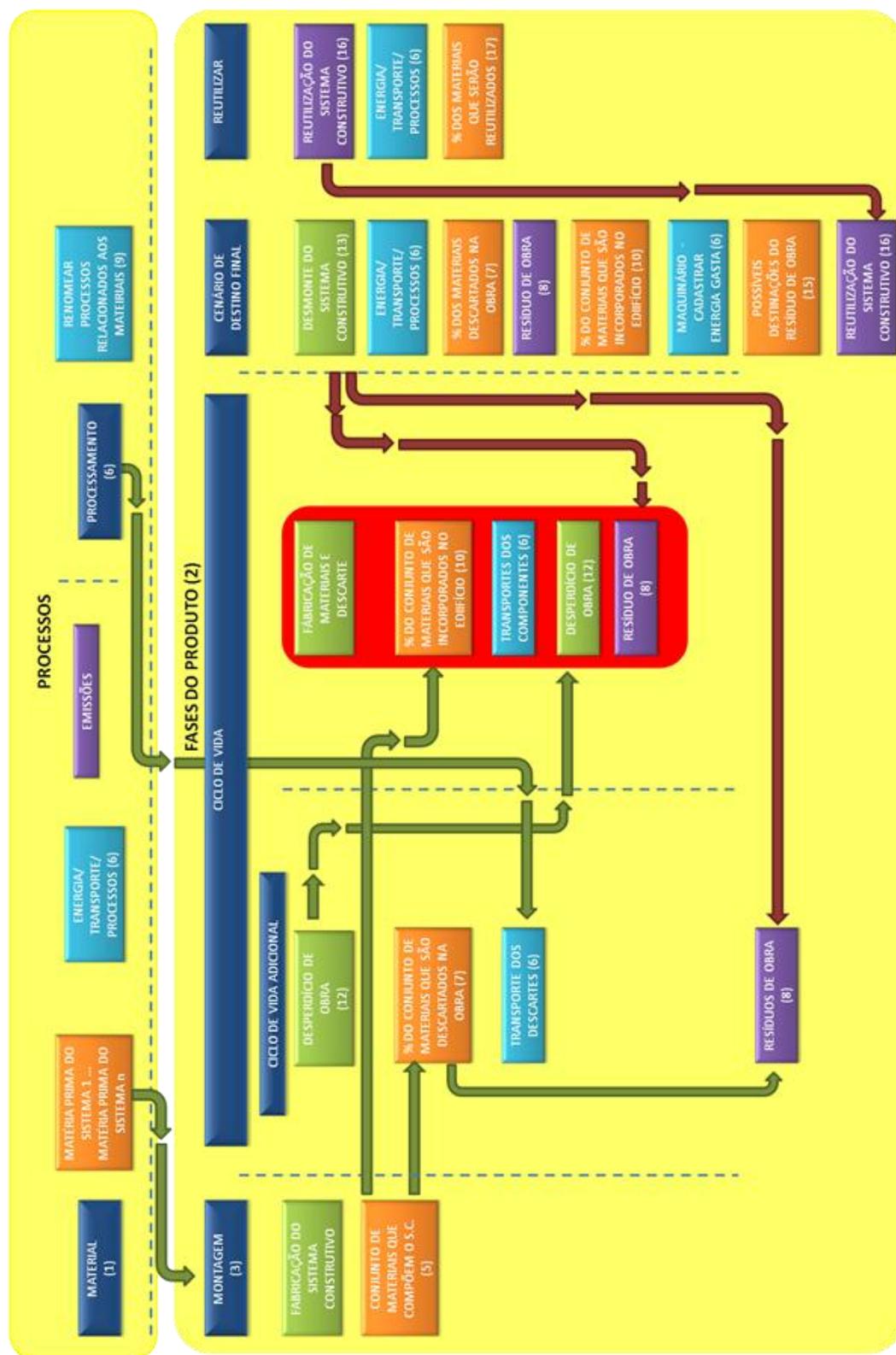


Figura 4.7- Parametrização de entradas de dados das etapas Fabricação e Desmonte do Edifício.

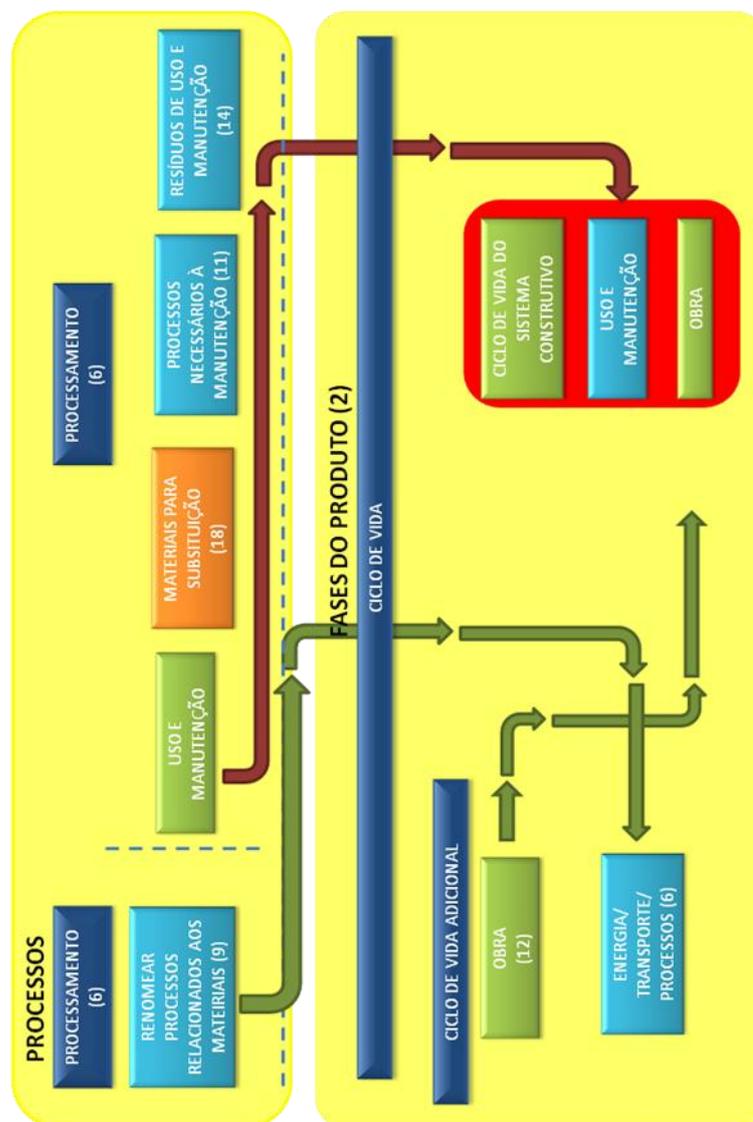


Figura 4.8- Parametrização de entradas de dados das etapas Obra e Ciclo de Vida do Edifício.

8.2 Anexo 3 – Telas de parametrização do SIMAPRO

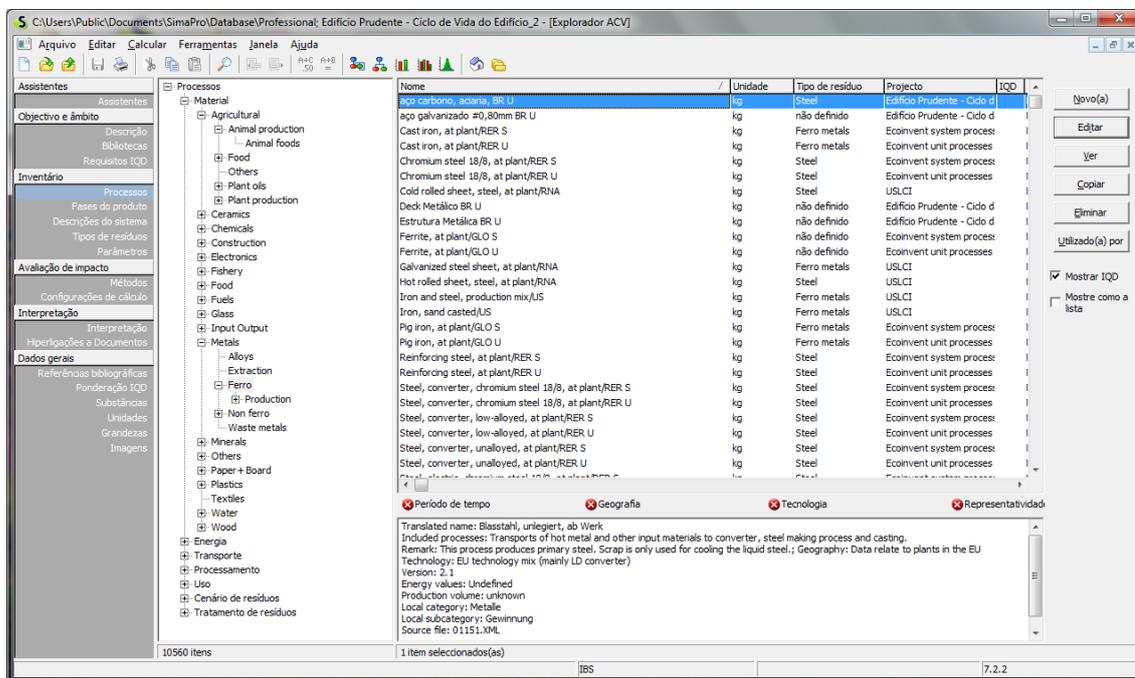


Figura A3.1 – Cadastro de novos materiais (1), energia (2), transporte (2), processos (2) e cenário de destino final (4).

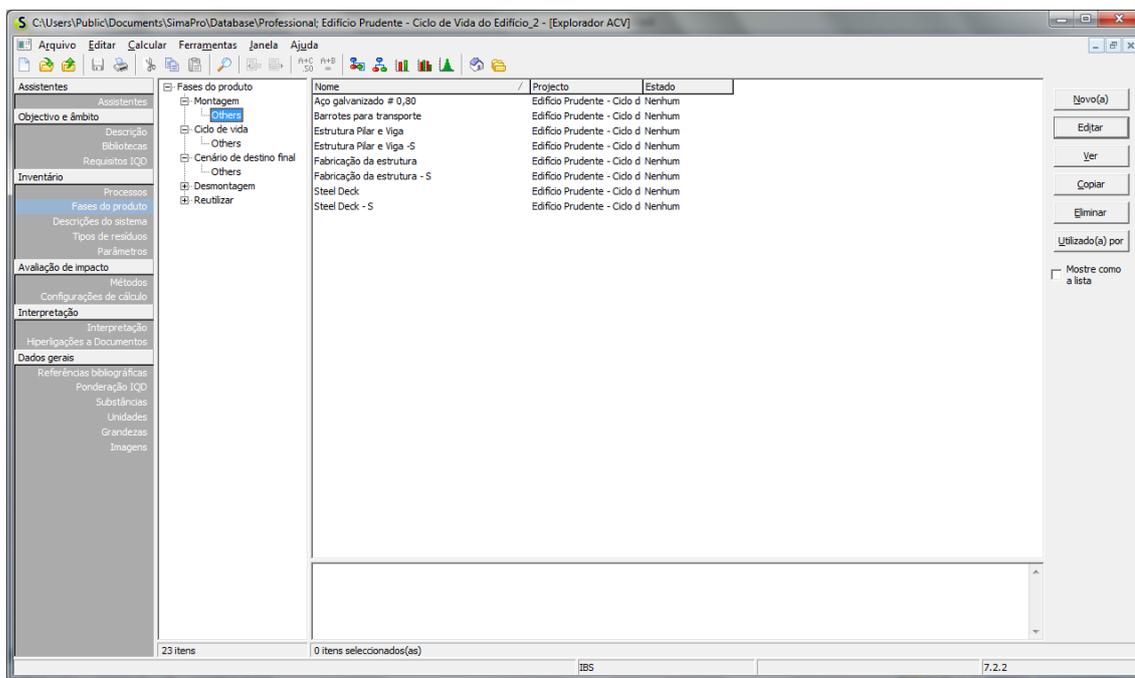


Figura A3.2- Montagem de conjunto de materiais (3).

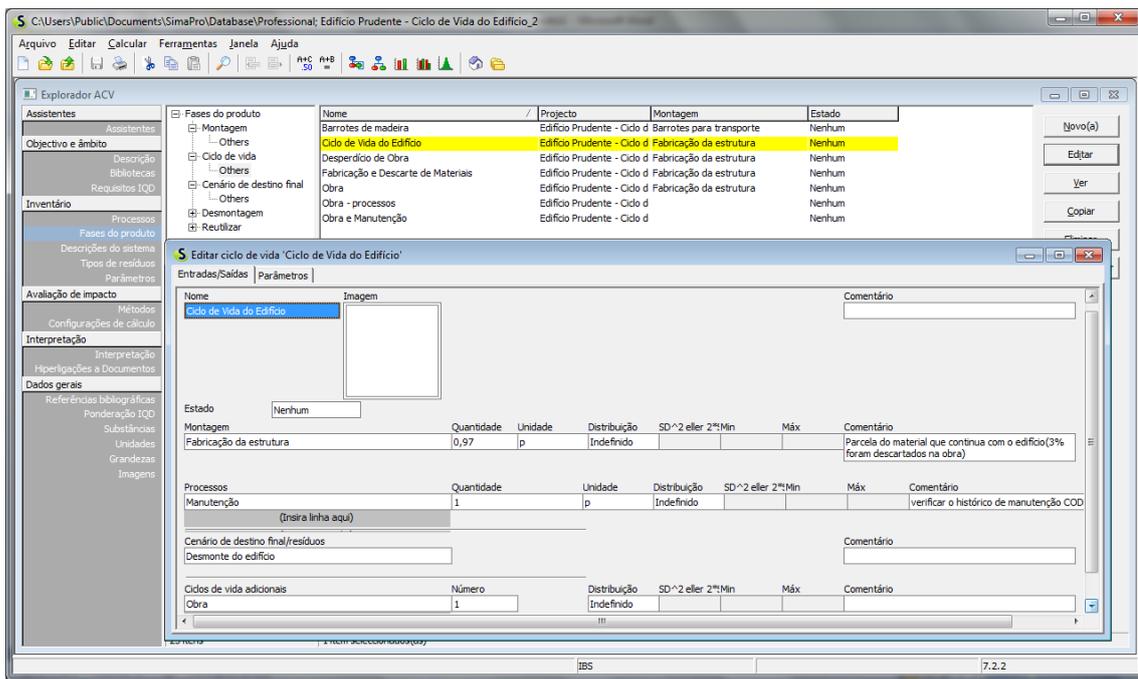


Figura A3.3 – Cadastro de Ciclo de Vida (6) e Ciclo de Vida Adicional (6)

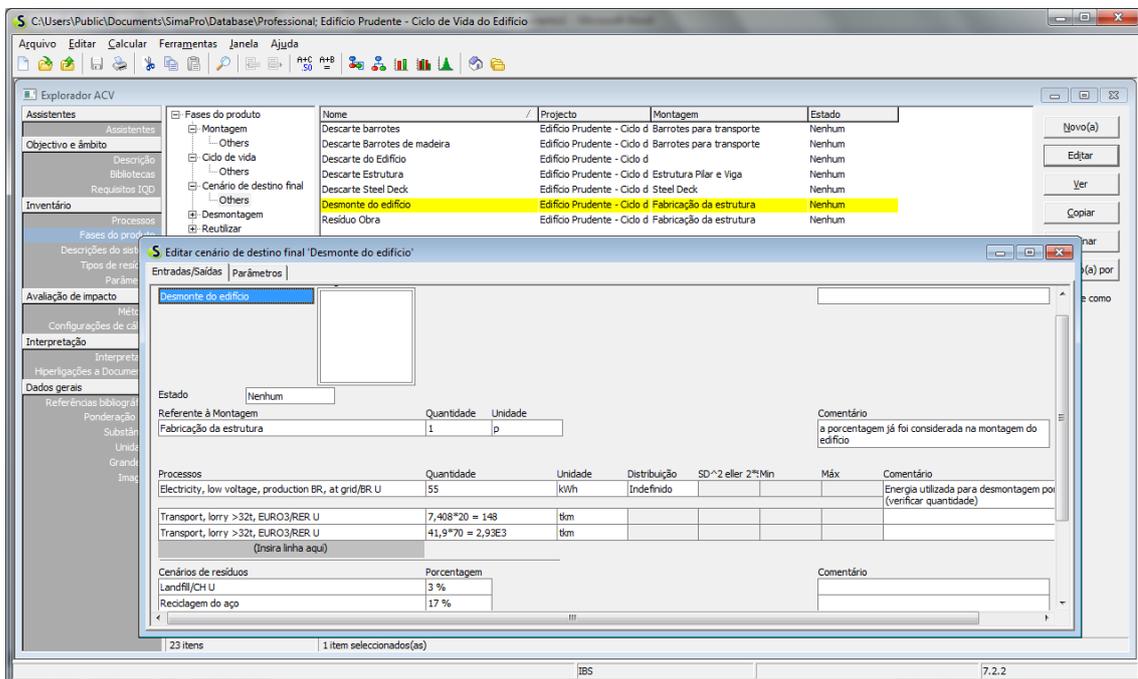


Figura A3.4 – Cadastro de Cenário de Destino Final (5)

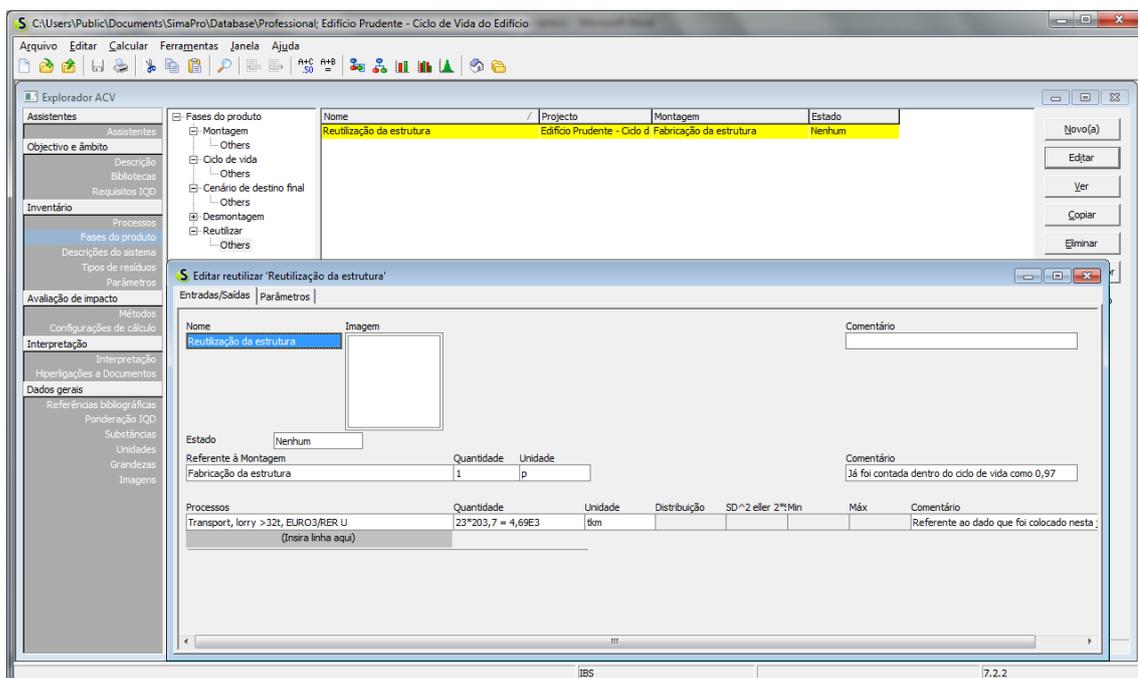


Figura A3.5 – Cadastro de Reutilização (7)

8.3 Anexo 4 – Inventário do Ciclo de vida do Sistema Estrutural em Aço

Inventário do Ciclo de Vida do Sistema Estrutural em Aço.

Num	Category	Substance	Unit	Total
1	Raw material inputs	Water, turbine use, unspecified natural origin	m3	31371906700
2	Raw material inputs	Energy, gross calorific value, in biomass	MJ	11635057,09
3	Raw material inputs	Energy, gross calorific value, in biomass, primary forest	MJ	-24986995649
4	Raw material inputs	Peat, in ground	kg	1051009899
5	Raw material inputs	Wood, dry matter	kg	2,439E-258
6	Raw material inputs	Wood, hard, standing	l	11,86371723
7	Raw material inputs	Wood, primary forest, standing	cm3	0,005402153
8	Raw material inputs	Wood, soft, standing	m3	-9,480408155
9	Raw material inputs	Wood, unspecified, standing/m3	cm3	0,377536124
10	Raw material inputs	Carbon dioxide, in air	kg	2,439E-258
11	Raw material inputs	Energy, kinetic (in wind), converted	MJ	0,21087215
12	Raw material inputs	Energy, solar, converted	MJ	1,49774E-05
13	Raw material inputs	Aluminium, 24% in bauxite, 11% in crude ore, in ground	kg	-0,168554858
14	Raw material inputs	Anhydrite, in ground	mg	0,006613769
15	Raw material inputs	Barite, 15% in crude ore, in ground	kg	2,439E-258
16	Raw material inputs	Baryte, in ground	kg	1314,127906
17	Raw material inputs	Basalt, in ground	kg	
18	Raw material inputs	Bauxite, in ground	kg	-1051,302324
19	Raw material inputs	Borax, in ground	mg	40,6431311
20	Raw material inputs	Cadmium, 0.30% in sulfide, Cd 0.18%, Pb, Zn, Ag, In, in ground	g	2,439E-258
21	Raw material inputs	Calcite, in ground	kg	0,26494848
22	Raw material inputs	Carbon, in organic matter, in soil	g	4,45465E-05
23	Raw material inputs	Chromium, 25.5% in chromite, 11.6% in crude ore, in ground	kg	-0,211937469
24	Raw material inputs	Chromium, in ground	g	0,008213162
25	Raw material inputs	Chrysotile, in ground	g	2,439E-258
26	Raw material inputs	Cinnabar, in ground	mg	0,131173334
27	Raw material inputs	Clay, bentonite, in ground	kg	

28	Raw material inputs	Clay, unspecified, in ground	kg	-0,104938667
29	Raw material inputs	Coal, 18 MJ per kg, in ground	ton	0,004056907
30	Raw material inputs	Coal, 26.4 MJ per kg, in ground	kg	2,439E-258
31	Raw material inputs	Coal, 29.3 MJ per kg, in ground	kg	17,37554583
32	Raw material inputs	Coal, brown, 8 MJ per kg, in ground	kg	
33	Raw material inputs	Coal, brown, in ground	kg	-13,90043667
34	Raw material inputs	Coal, hard, unspecified, in ground	kg	0,537388015
35	Raw material inputs	Cobalt, in ground	mg	2,439E-258
36	Raw material inputs	Colemanite, in ground	g	0,008915538
37	Raw material inputs	Copper, 0.99% in sulfide, Cu 0.36% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	kg	1,22035E-09
38	Raw material inputs	Copper, 1.18% in sulfide, Cu 0.39% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	kg	-0,007132358
39	Raw material inputs	Copper, 1.42% in sulfide, Cu 0.81% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	kg	0,000275805
40	Raw material inputs	Copper, 2.19% in sulfide, Cu 1.83% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	kg	2,439E-258
41	Raw material inputs	Copper, in ground	kg	0,000258109
42	Raw material inputs	Diatomite, in ground	mg	
43	Raw material inputs	Dolomite, in ground	kg	-0,000206487
44	Raw material inputs	Feldspar, in ground	mg	7,98276E-06
45	Raw material inputs	Fluorine, 4.5% in apatite, 1% in crude ore, in ground	g	2,439E-258
46	Raw material inputs	Fluorine, 4.5% in apatite, 3% in crude ore, in ground	g	0,133595751
47	Raw material inputs	Fluorspar, 92%, in ground	kg	9,66402E-09
48	Raw material inputs	Gallium, 0.014% in bauxite, in ground	µg	-0,106876028
49	Raw material inputs	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/kg	kg	0,004132354
50	Raw material inputs	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	m3	2,439E-258
51	Raw material inputs	Gas, natural, 35 MJ per m3, in ground	m3	0,06766569
52	Raw material inputs	Gas, natural, in ground	m3	7,60421E-06
53	Raw material inputs	Gas, petroleum, 35 MJ per m3, in ground	m3	-0,048877298
54	Raw material inputs	Gold, Au 1.1E-4%, Ag 4.2E-3%, in ore, in ground	mg	0,006365247
55	Raw material inputs	Gold, Au 1.3E-4%, Ag 4.6E-5%, in ore, in ground	mg	2,439E-258
56	Raw material inputs	Gold, Au 1.4E-4%, in ore, in ground	mg	0,020151929

57	Raw material inputs	Gold, Au 2.1E-4%, Ag 2.1E-4%, in ore, in ground	mg	3,12115E-05
58	Raw material inputs	Gold, Au 4.3E-4%, in ore, in ground	mg	-0,015851538
59	Raw material inputs	Gold, Au 4.9E-5%, in ore, in ground	mg	0,000851443
60	Raw material inputs	Gold, Au 6.7E-4%, in ore, in ground	mg	2,439E-258
61	Raw material inputs	Gold, Au 7.1E-4%, in ore, in ground	mg	0,00278864
62	Raw material inputs	Gold, Au 9.7E-4%, Ag 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, in ore, in ground	mg	
63	Raw material inputs	Granite, in ground	µg	-0,002230912
64	Raw material inputs	Gravel, in ground	kg	8,62466E-05
65	Raw material inputs	Gypsum, in ground	g	2,439E-258
66	Raw material inputs	Helium, 0.08% in natural gas, in ground	mg	0,000115861
67	Raw material inputs	Indium, 0.005% in sulfide, In 0.003%, Pb, Zn, Ag, Cd, in ground	mg	4,28578E-12
68	Raw material inputs	Iron, 46% in ore, 25% in crude ore, in ground	kg	-9,26884E-05
69	Raw material inputs	Iron, in ground	kg	3,58356E-06
70	Raw material inputs	Kaolinite, 24% in crude ore, in ground	kg	2,439E-258
71	Raw material inputs	Kieserite, 25% in crude ore, in ground	g	2,53123E-07
72	Raw material inputs	Lead, 5.0% in sulfide, Pb 3.0%, Zn, Ag, Cd, In, in ground	kg	
73	Raw material inputs	Lead, in ground	g	-2,02498E-07
74	Raw material inputs	Magnesite, 60% in crude ore, in ground	kg	7,82854E-09
75	Raw material inputs	Manganese, 35.7% in sedimentary deposit, 14.2% in crude ore, in ground	kg	2,439E-258
76	Raw material inputs	Manganese, in ground	g	2,18433E-08
77	Raw material inputs	Marl, in ground	kg	
78	Raw material inputs	Metamorphous rock, graphite containing, in ground	kg	-1,74747E-08
79	Raw material inputs	Molybdenum, 0.010% in sulfide, Mo 8.2E- 3% and Cu 1.83% in crude ore, in ground	g	6,75567E-10
80	Raw material inputs	Molybdenum, 0.014% in sulfide, Mo 8.2E- 3% and Cu 0.81% in crude ore, in ground	g	2,439E-258
81	Raw material inputs	Molybdenum, 0.022% in sulfide, Mo 8.2E- 3% and Cu 0.36% in crude ore, in ground	g	0,000538318
82	Raw material inputs	Molybdenum, 0.025% in sulfide, Mo 8.2E- 3% and Cu 0.39% in crude ore, in ground	g	2,1578E-07
83	Raw material inputs	Molybdenum, 0.11% in sulfide, Mo 4.1E-2%	g	-0,000428738

		and Cu 0.36% in crude ore, in ground		
84	Raw material inputs	Molybdenum, in ground	µg	1,81803E-05
85	Raw material inputs	Nickel, 1.13% in sulfide, Ni 0.76% and Cu 0.76% in crude ore, in ground	g	2,439E-258
86	Raw material inputs	Nickel, 1.98% in silicates, 1.04% in crude ore, in ground	kg	0,104410054
87	Raw material inputs	Nickel, in ground	g	7,78163E-09
88	Raw material inputs	Oil, crude, 42.6 MJ per kg, in ground	kg	-0,083527582
89	Raw material inputs	Oil, crude, in ground	kg	0,003229601
90	Raw material inputs	Olivine, in ground	mg	2,439E-258
91	Raw material inputs	Palladium, in ground	µg	0,004064979
92	Raw material inputs	Pd, Pd 2.0E-4%, Pt 4.8E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	mg	
93	Raw material inputs	Pd, Pd 7.3E-4%, Pt 2.5E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	mg	-0,003251983
94	Raw material inputs	Phosphorus, 18% in apatite, 12% in crude ore, in ground	kg	0,000125721
95	Raw material inputs	Phosphorus, 18% in apatite, 4% in crude ore, in ground	g	2,439E-258
96	Raw material inputs	Platinum, in ground	µg	0,001122212
97	Raw material inputs	Pt, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	mg	4,33828E-09
98	Raw material inputs	Pt, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	mg	-0,000897701
99	Raw material inputs	Rh, Rh 2.0E-5%, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	µg	3,47704E-05
100	Raw material inputs	Rh, Rh 2.4E-5%, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	mg	2,439E-258
101	Raw material inputs	Rhenium, in crude ore, in ground	µg	0,090705611
102	Raw material inputs	Rhenium, in ground	µg	1,15128E-08
103	Raw material inputs	Rhodium, in ground	µg	-0,072563807
104	Raw material inputs	Sand, unspecified, in ground	kg	0,002805955
105	Raw material inputs	Shale, in ground	mg	2,439E-258
106	Raw material inputs	Silver, 0.007% in sulfide, Ag 0.004%, Pb, Zn, Cd, In, in ground	mg	0,005602056
107	Raw material inputs	Silver, 3.2ppm in sulfide, Ag 1.2ppm, Cu and Te, in crude ore, in ground	mg	

108	Raw material inputs	Silver, Ag 2.1E-4%, Au 2.1E-4%, in ore, in ground	mg	-0,004481645
109	Raw material inputs	Silver, Ag 4.2E-3%, Au 1.1E-4%, in ore, in ground	mg	0,000173259
110	Raw material inputs	Silver, Ag 4.6E-5%, Au 1.3E-4%, in ore, in ground	mg	2,439E-258
111	Raw material inputs	Silver, Ag 9.7E-4%, Au 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, in ore, in ground	mg	0,108113426
112	Raw material inputs	Silver, in ground	g	
113	Raw material inputs	Sodium chloride, in ground	kg	-0,086490741
114	Raw material inputs	Sodium nitrate, in ground	µg	0,003343714
115	Raw material inputs	Sodium sulphate, various forms, in ground	g	2,439E-258
116	Raw material inputs	Stibnite, in ground	µg	2,66792E-07
117	Raw material inputs	Sulfur, in ground	g	9,94638E-11
118	Raw material inputs	Sylvite, 25 % in sylvinitite, in ground	kg	-1,95394E-07
119	Raw material inputs	Talc, in ground	g	2,43318E-08
120	Raw material inputs	Tantalum, 81.9% in tantalite, 1.6E-4% in crude ore, in ground	mg	2,439E-258
121	Raw material inputs	Tellurium, 0.5ppm in sulfide, Te 0.2ppm, Cu and Ag, in crude ore, in ground	mg	0,005835957
122	Raw material inputs	Tin, 79% in cassiterite, 0.1% in crude ore, in ground	g	2,81774E-08
123	Raw material inputs	Tin, in ground	g	-0,00466856
124	Raw material inputs	TiO ₂ , 54% in ilmenite, 2.6% in crude ore, in ground	kg	0,000180654
125	Raw material inputs	TiO ₂ , 95% in rutile, 0.40% in crude ore, in ground	mg	2,439E-258
126	Raw material inputs	Ulexite, in ground	g	1,93863E-07
127	Raw material inputs	Uranium oxide, 332 GJ per kg, in ore	g	
128	Raw material inputs	Uranium, 560 GJ per kg, in ground	g	-1,55091E-07
129	Raw material inputs	Uranium, in ground	g	5,99577E-09
130	Raw material inputs	Vermiculite, in ground	g	2,439E-258
131	Raw material inputs	Volume occupied, final repository for low-active radioactive waste	cm ³	0,152056766
132	Raw material inputs	Volume occupied, final repository for radioactive waste	cm ³	2,01277E-05
133	Raw material inputs	Volume occupied, underground deposit	l	-0,111966497

134	Raw material inputs	Zinc, 9.0% in sulfide, Zn 5.3%, Pb, Ag, Cd, In, in ground	kg	0,012573434
135	Raw material inputs	Zinc, in ground	g	2,439E-258
136	Raw material inputs	Zirconium, 50% in zircon, 0.39% in crude ore, in ground	mg	0,021558332
137	Raw material inputs	Energy, potential (in hydropower reservoir), converted	MJ	
138	Raw material inputs	Magnesium, 0.13% in water	kg	-0,017246666
139	Raw material inputs	Volume occupied, reservoir	m3y	0,000666753
140	Raw material inputs	Water, cooling, unspecified natural origin/m3	m3	2,439E-258
141	Raw material inputs	Water, lake	m3	0,045198182
142	Raw material inputs	Water, river	m3	6,66397E-09
143	Raw material inputs	Water, salt, ocean	m3	-0,036158151
144	Raw material inputs	Water, salt, sole	m3	0,001398245
145	Raw material inputs	Water, turbine use, unspecified natural origin	m3	2,439E-258
146	Raw material inputs	Water, unspecified natural origin/kg	ton	0,681484682
147	Raw material inputs	Water, unspecified natural origin/m3	m3	8,82367E-17
148	Raw material inputs	Water, well, in ground	m3	-0,545187746
149	Raw material inputs	Land use II-III	m2a	0,021076846
150	Raw material inputs	Land use II-III, sea floor	m2a	2,439E-258
151	Raw material inputs	Land use II-IV	m2a	0,000369591
152	Raw material inputs	Land use II-IV, sea floor	m2a	
153	Raw material inputs	Land use III-IV	m2a	-0,000295673
154	Raw material inputs	Land use IV-IV	m2a	1,14307E-05
155	Raw material inputs	Occupation, arable, non-irrigated	m2a	2,439E-258
156	Raw material inputs	Occupation, construction site	m2a	0,009695473
157	Raw material inputs	Occupation, dump site	m2a	1,57301E-05
158	Raw material inputs	Occupation, dump site, benthos	m2a	-0,007620326
159	Raw material inputs	Occupation, forest, intensive	m2a	0,000414839
160	Raw material inputs	Occupation, forest, intensive, normal	m2a	2,439E-258
161	Raw material inputs	Occupation, forest, intensive, short-cycle	m2a	2,10665E-06
162	Raw material inputs	Occupation, industrial area	m2a	
163	Raw material inputs	Occupation, industrial area, benthos	cm2a	-1,68532E-06
164	Raw material inputs	Occupation, industrial area, built up	m2a	6,51543E-08
165	Raw material inputs	Occupation, industrial area, vegetation	m2a	2,439E-258
166	Raw material inputs	Occupation, mineral extraction site	m2a	0,071956141
167	Raw material inputs	Occupation, permanent crop, fruit, intensive	m2a	

168	Raw material inputs	Occupation, shrub land, sclerophyllous	m2a	-0,057564913
169	Raw material inputs	Occupation, traffic area, rail embankment	m2a	0,002225448
170	Raw material inputs	Occupation, traffic area, rail network	m2a	2,439E-258
171	Raw material inputs	Occupation, traffic area, road embankment	m2a	7,96139E-05
172	Raw material inputs	Occupation, traffic area, road network	m2a	4,75661E-08
173	Raw material inputs	Occupation, urban, discontinuously built	m2a	-6,35411E-05
174	Raw material inputs	Occupation, water bodies, artificial	m2a	2,59793E-06
175	Raw material inputs	Occupation, water courses, artificial	m2a	2,439E-258
176	Raw material inputs	Transformation, from arable	dm2	0,119950017
177	Raw material inputs	Transformation, from arable, non-irrigated	m2	5,92446E-09
178	Raw material inputs	Transformation, from arable, non-irrigated, fallow	cm2	-0,095959662
179	Raw material inputs	Transformation, from dump site, inert material landfill	dm2	0,003710117
180	Raw material inputs	Transformation, from dump site, residual material landfill	dm2	2,439E-258
181	Raw material inputs	Transformation, from dump site, sanitary landfill	dm2	0,012106201
182	Raw material inputs	Transformation, from dump site, slag compartment	mm2	6,98372E-12
183	Raw material inputs	Transformation, from forest	m2	-0,00968496
184	Raw material inputs	Transformation, from forest, extensive	dm2	0,000374419
185	Raw material inputs	Transformation, from forest, intensive, clear-cutting	cm2	2,439E-258
186	Raw material inputs	Transformation, from forest, intensive, normal	m2	0,00018428
187	Raw material inputs	Transformation, from industrial area	cm2	1,34456E-10
188	Raw material inputs	Transformation, from industrial area, benthos	mm2	-0,000147416
189	Raw material inputs	Transformation, from industrial area, built up	mm2	5,70672E-06
190	Raw material inputs	Transformation, from industrial area, vegetation	mm2	2,439E-258
191	Raw material inputs	Transformation, from mineral extraction site	dm2	1,35042E-07
192	Raw material inputs	Transformation, from pasture and meadow	dm2	1,94121E-17
193	Raw material inputs	Transformation, from pasture and meadow, intensive	cm2	-1,08034E-07
194	Raw material inputs	Transformation, from sea and ocean	dm2	4,17656E-09
195	Raw material inputs	Transformation, from shrub land,	dm2	2,439E-258

		sclerophyllous		
196	Raw material inputs	Transformation, from tropical rain forest	cm2	2,3385E-08
197	Raw material inputs	Transformation, from unknown	m2	
198	Raw material inputs	Transformation, to arable	dm2	-1,8708E-08
199	Raw material inputs	Transformation, to arable, non-irrigated	m2	7,23246E-10
200	Raw material inputs	Transformation, to arable, non-irrigated, fallow	cm2	2,439E-258
201	Raw material inputs	Transformation, to dump site	dm2	0,060598
202	Raw material inputs	Transformation, to dump site, benthos	dm2	7,13411E-06
203	Raw material inputs	Transformation, to dump site, inert material landfill	dm2	-0,048102784
204	Raw material inputs	Transformation, to dump site, residual material landfill	dm2	0,002035033
205	Raw material inputs	Transformation, to dump site, sanitary landfill	dm2	2,439E-258
206	Raw material inputs	Transformation, to dump site, slag compartment	mm2	4,10528E-08
207	Raw material inputs	Transformation, to forest	dm2	
208	Raw material inputs	Transformation, to forest, intensive	dm2	-3,28422E-08
209	Raw material inputs	Transformation, to forest, intensive, clear-cutting	cm2	1,26967E-09
210	Raw material inputs	Transformation, to forest, intensive, normal	m2	2,439E-258
211	Raw material inputs	Transformation, to forest, intensive, short-cycle	cm2	0,101899345
212	Raw material inputs	Transformation, to heterogeneous, agricultural	dm2	6,96719E-06
213	Raw material inputs	Transformation, to industrial area	dm2	-0,080492893
214	Raw material inputs	Transformation, to industrial area, benthos	cm2	0,003992296
215	Raw material inputs	Transformation, to industrial area, built up	dm2	2,439E-258
216	Raw material inputs	Transformation, to industrial area, vegetation	dm2	0,010413065
217	Raw material inputs	Transformation, to mineral extraction site	m2	1,2907E-09
218	Raw material inputs	Transformation, to pasture and meadow	cm2	-0,008330376
219	Raw material inputs	Transformation, to permanent crop, fruit, intensive	cm2	0,000322124
220	Raw material inputs	Transformation, to sea and ocean	mm2	2,439E-258
221	Raw material inputs	Transformation, to shrub land, sclerophyllous	dm2	0,000440893
222	Raw material inputs	Transformation, to traffic area, rail embankment	dm2	1,33924E-06

223	Raw material inputs	Transformation, to traffic area, rail network	dm2	-0,000339404
224	Raw material inputs	Transformation, to traffic area, road embankment	cm2	2,48754E-05
225	Raw material inputs	Transformation, to traffic area, road network	dm2	2,439E-258
226	Raw material inputs	Transformation, to unknown	dm2	0,000136214
227	Raw material inputs	Transformation, to urban, discontinuously built	cm2	
228	Raw material inputs	Transformation, to water bodies, artificial	m2	-0,000108971
229	Raw material inputs	Transformation, to water courses, artificial	dm2	4,21281E-06
230	Releases to air	2-Chloroacetophenone	µg	2,439E-258
231	Releases to air	5-methyl Chrysene	µg	0,000131621
232	Releases to air	Acenaphthene	µg	4,01772E-07
233	Releases to air	Acenaphthylene	µg	-0,000101304
234	Releases to air	Acetaldehyde	g	7,44263E-06
235	Releases to air	Acetic acid	g	2,439E-258
236	Releases to air	Acetone	g	0,033884171
237	Releases to air	Acetophenone	µg	1,34268E-07
238	Releases to air	Acrolein	mg	-0,027105986
239	Releases to air	Aldehydes, unspecified	g	0,001049107
240	Releases to air	Aluminum	kg	2,439E-258
241	Releases to air	Americium-241	mBq	4,67358E-05
242	Releases to air	Ammonia	kg	2,33152E-11
243	Releases to air	Ammonium chloride	mg	-3,73872E-05
244	Releases to air	Anthracene	µg	1,44671E-06
245	Releases to air	Antimony	mg	2,439E-258
246	Releases to air	Antimony-124	mBq	0,003763961
247	Releases to air	Antimony-125	mBq	
248	Releases to air	Argon-41	kBq	-0,003011169
249	Releases to air	Arsenic	g	0,000116411
250	Releases to air	Barium	g	2,439E-258
251	Releases to air	Barium-140	mBq	2,73048E-08
252	Releases to air	Benzal chloride	ng	
253	Releases to air	Benzaldehyde	µg	-2,18438E-08
254	Releases to air	Benzene	g	8,44477E-10
255	Releases to air	Benzene, chloro-	µg	2,439E-258
256	Releases to air	Benzene, ethyl-	g	1,41662E-05
257	Releases to air	Benzene, hexachloro-	mg	1,82931E-12

258	Releases to air	Benzene, pentachloro-	µg	-1,13328E-05
259	Releases to air	Benzo(a)anthracene	µg	4,38228E-07
260	Releases to air	Benzo(a)pyrene	mg	2,439E-258
261	Releases to air	Benzo(b,j,k)fluoranthene	µg	3,72001E-07
262	Releases to air	Benzo(ghi)perylene	µg	
263	Releases to air	Benzyl chloride	mg	-2,97601E-07
264	Releases to air	Beryllium	mg	1,15052E-08
265	Releases to air	Biphenyl	g	2,439E-258
266	Releases to air	Boron	g	1,1036E-07
267	Releases to air	Bromine	g	1,69829E-11
268	Releases to air	Bromoform	µg	-8,72817E-08
269	Releases to air	BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylene), unspecified ratio	g	4,33823E-09
270	Releases to air	Butadiene	mg	2,439E-258
271	Releases to air	Butane	g	5,73396E-08
272	Releases to air	Butene	g	
273	Releases to air	Cadmium	mg	-4,58717E-08
274	Releases to air	Calcium	g	1,77339E-09
275	Releases to air	Carbon-14	kBq	2,439E-258
276	Releases to air	Carbon dioxide	kg	7,37228E-09
277	Releases to air	Carbon dioxide, biogenic	kg	
278	Releases to air	Carbon dioxide, fossil	kg	-5,89783E-09
279	Releases to air	Carbon disulfide	µg	2,28009E-10
280	Releases to air	Carbon monoxide	kg	2,439E-258
281	Releases to air	Carbon monoxide, fossil	kg	1,54252E-05
282	Releases to air	Cerium-141	mBq	7,69085E-12
283	Releases to air	Cerium-144	Bq	-1,23397E-05
284	Releases to air	Cesium-134	Bq	4,77487E-07
285	Releases to air	Cesium-137	Bq	2,439E-258
286	Releases to air	Chloride	µg	0,02361725
287	Releases to air	Chlorine	mg	9,18235E-06
288	Releases to air	Chloroform	mg	-0,018748687
289	Releases to air	Chromium	g	0,001579158
290	Releases to air	Chromium-51	mBq	2,439E-258
291	Releases to air	Chromium VI	mg	6,63910822
292	Releases to air	Chrysene	µg	
293	Releases to air	Cobalt	g	-5,311286576

294	Releases to air	Cobalt-57	µBq	0,205333244
295	Releases to air	Cobalt-58	Bq	2,439E-258
296	Releases to air	Cobalt-60	Bq	0,300315073
297	Releases to air	Copper	g	
298	Releases to air	Cumene	µg	-0,240252058
299	Releases to air	Curium-242	µBq	0,009288095
300	Releases to air	Curium-244	µBq	2,439E-258
301	Releases to air	Curium alpha	Bq	0,000423659
302	Releases to air	Cyanide	mg	
303	Releases to air	Dinitrogen monoxide	kg	-0,000338927
304	Releases to air	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	µg	1,31028E-05
305	Releases to air	Ethane	g	
306	Releases to air	Ethane, 1-chloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, HCFC-124a	g	
307	Releases to air	Ethane, 1,1-dichloro-1-fluoro-, HCFC-141b	g	
308	Releases to air	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	µg	2,4975E-258
309	Releases to air	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	g	0,010856577
310	Releases to air	Ethane, 1,2-dibromo-	µg	1,71315E-06
311	Releases to air	Ethane, 1,2-dichloro-	µg	-0,008682065
312	Releases to air	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	g	0,000338665
313	Releases to air	Ethane, chloro-	µg	2,4975E-258
314	Releases to air	Ethane, dichloro-	mg	6663,918308
315	Releases to air	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	g	2,619145588
316	Releases to air	Ethanol	g	-5265,822478
317	Releases to air	Ethene	g	844,1881815
318	Releases to air	Ethene, chloro-	mg	2,4975E-258
319	Releases to air	Ethene, tetrachloro-	mg	6,60417399
320	Releases to air	Ethylene oxide	µg	0,002696542
321	Releases to air	Ethyne	g	6951,697378
322	Releases to air	Fluoranthene	µg	0,731528771
323	Releases to air	Fluorene	µg	2,4975E-258
324	Releases to air	Fluoride	mg	20,44664247
325	Releases to air	Fluorine	µg	0,003255274
326	Releases to air	Formaldehyde	g	-16,35096108
327	Releases to air	Furan	µg	0,638076885

328	Releases to air	Heat, waste	MJ	2,4975E-258
329	Releases to air	Helium	g	0,076079246
330	Releases to air	Heptane	g	3,00058E-05
331	Releases to air	Hexane	g	-0,06059828
332	Releases to air	Hydrazine, methyl-	µg	0,002758565
333	Releases to air	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	g	2,4975E-258
334	Releases to air	Hydrocarbons, aliphatic, alkenes, unspecified	g	1,026560302
335	Releases to air	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	ng	0,000215729
336	Releases to air	Hydrocarbons, aromatic	g	-0,809932904
337	Releases to air	Hydrocarbons, chlorinated	g	0,043236861
338	Releases to air	Hydrocarbons, unspecified	g	2,4975E-258
339	Releases to air	Hydrogen	mg	0,000584381
340	Releases to air	Hydrogen-3, Tritium	kBq	4,33669E-08
341	Releases to air	Hydrogen chloride	kg	-0,000415416
342	Releases to air	Hydrogen fluoride	g	6,34023E-05
343	Releases to air	Hydrogen sulfide	g	2,4975E-258
344	Releases to air	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	µg	0,000131682
345	Releases to air	Iodine	g	1,29253E-07
346	Releases to air	Iodine-129	Bq	-0,000104822
347	Releases to air	Iodine-131	Bq	4,96008E-06
348	Releases to air	Iodine-133	Bq	2,4975E-258
349	Releases to air	Iodine-135	Bq	3,67886E-05
350	Releases to air	Iron	g	
351	Releases to air	Iron-59	mBq	-2,94309E-05
352	Releases to air	Isophorone	mg	1,13779E-06
353	Releases to air	Isoprene	g	2,4975E-258
354	Releases to air	Kerosene	mg	0,037320525
355	Releases to air	Krypton-85	kBq	1,44762E-05
356	Releases to air	Krypton-85m	Bq	-0,029835548
357	Releases to air	Krypton-87	Bq	0,001438678
358	Releases to air	Krypton-88	kBq	2,4975E-258
359	Releases to air	Krypton-89	Bq	0,058042984
360	Releases to air	Lanthanum	mg	2,864E-05
361	Releases to air	Lanthanum-140	mBq	-0,046348953
362	Releases to air	Lead	g	0,002124947
363	Releases to air	Lead-210	Bq	2,4975E-258
364	Releases to air	Magnesium	g	0,351848236

365	Releases to air	Manganese	g	8,62917E-05
366	Releases to air	Manganese-54	mBq	-0,276952454
367	Releases to air	Mercaptans, unspecified	g	0,015476933
368	Releases to air	Mercury	g	2,4975E-258
369	Releases to air	Metals, unspecified	ng	0,000791383
370	Releases to air	Methacrylic acid, methyl ester	µg	4,21198E-07
371	Releases to air	Methane	kg	-0,000631738
372	Releases to air	Methane, biogenic	g	2,56799E-05
373	Releases to air	Methane, bromo-, Halon 1001	µg	2,4975E-258
374	Releases to air	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	mg	0,035296475
375	Releases to air	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	g	1,76046E-05
376	Releases to air	Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	mg	-0,028188694
377	Releases to air	Methane, dichloro-, HCC-30	mg	0,001293165
378	Releases to air	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	mg	2,4975E-258
379	Releases to air	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	mg	0,020531213
380	Releases to air	Methane, fossil	kg	4,31458E-06
381	Releases to air	Methane, monochloro-, R-40	mg	-0,016198663
382	Releases to air	Methane, tetrachloro-, CFC-10	mg	0,000864737
383	Releases to air	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	g	2,4975E-258
384	Releases to air	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	mg	8,18369E-07
385	Releases to air	Methanol	g	3,07181E-10
386	Releases to air	Methyl ethyl ketone	mg	-6,49552E-07
387	Releases to air	Molybdenum	mg	3,05454E-08
388	Releases to air	Naphthalene	g	2,4975E-258
389	Releases to air	Neptunium-237	µBq	2,45615E-07
390	Releases to air	Nickel	g	
391	Releases to air	Niobium-95	mBq	-1,96492E-07
392	Releases to air	Nitrogen	g	7,59633E-09
393	Releases to air	Nitrogen oxides	kg	2,4975E-258
394	Releases to air	NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	kg	9,81104E-07
395	Releases to air	Noble gases, radioactive, unspecified	Bq	3,53616E-10
396	Releases to air	Organic acids	mg	-7,69826E-07
397	Releases to air	Organic substances, unspecified	g	4,36033E-08
398	Releases to air	Ozone	g	2,4975E-258
399	Releases to air	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	g	0,001161965
400	Releases to air	Particulates, < 10 µm	kg	3,42079E-07

401	Releases to air	Particulates, < 10 um (mobile)	kg	-0,000905657
402	Releases to air	Particulates, < 10 um (stationary)	kg	5,69975E-05
403	Releases to air	Particulates, < 2.5 um	kg	2,4975E-258
404	Releases to air	Particulates, > 10 um	kg	2,78651E-05
405	Releases to air	Particulates, > 10 um (process)	kg	1,48307E-08
406	Releases to air	Particulates, > 2.5 um, and < 10um	kg	-2,22439E-05
407	Releases to air	Particulates, unspecified	kg	9,04207E-07
408	Releases to air	Pentane	g	2,4975E-258
409	Releases to air	Phenanthrene	g	7,7328E-06
410	Releases to air	Phenol	mg	3,59469E-09
411	Releases to air	Phenol, pentachloro-	ng	-6,17115E-06
412	Releases to air	Phenols, unspecified	mg	2,81534E-07
413	Releases to air	Phosphorus	mg	2,4975E-258
414	Releases to air	Phosphorus, total	g	1,7358E-06
415	Releases to air	Phthalate, dioctyl-	µg	6,25628E-10
416	Releases to air	Platinum	µg	-1,362E-06
417	Releases to air	Plutonium-238	µBq	7,71441E-08
418	Releases to air	Plutonium-241	Bq	2,4975E-258
419	Releases to air	Plutonium-alpha	Bq	0,000183509
420	Releases to air	Polonium-210	Bq	1,3618E-08
421	Releases to air	Polychlorinated biphenyls	mg	-0,00013045
422	Releases to air	Potassium	g	1,99097E-05
423	Releases to air	Potassium-40	Bq	2,4975E-258
424	Releases to air	Promethium-147	Bq	9,16308E-05
425	Releases to air	Propanal	mg	9,04397E-08
426	Releases to air	Propane	g	-7,24158E-05
427	Releases to air	Propene	g	3,87175E-06
428	Releases to air	Propionic acid	mg	2,4975E-258
429	Releases to air	Protactinium-234	Bq	1,21199E-05
430	Releases to air	Pyrene	µg	
431	Releases to air	Radioactive species, other beta emitters	mBq	-9,69589E-06
432	Releases to air	Radioactive species, unspecified	kBq	3,74841E-07
433	Releases to air	Radionuclides (Including Radon)	g	2,4975E-258
434	Releases to air	Radium-226	Bq	8,76276E-05
435	Releases to air	Radium-228	Bq	
436	Releases to air	Radon-220	Bq	-7,01021E-05
437	Releases to air	Radon-222	Bq	2,71013E-06

438	Releases to air	Ruthenium-103	μBq	2,4975E-258
439	Releases to air	Ruthenium-106	Bq	0,139952919
440	Releases to air	Scandium	mg	1,84285E-05
441	Releases to air	Selenium	g	-0,111927949
442	Releases to air	Silicon	g	0,004359577
443	Releases to air	Silver-110	mBq	2,4975E-258
444	Releases to air	Sodium	g	0,007433529
445	Releases to air	Strontium	g	1,86942E-05
446	Releases to air	Strontium-89	mBq	-0,005912542
447	Releases to air	Strontium-90	Bq	0,000272092
448	Releases to air	Styrene	μg	2,4975E-258
449	Releases to air	Sulfate	mg	0,342430985
450	Releases to air	Sulfur dioxide	kg	6,38872E-05
451	Releases to air	Sulfur hexafluoride	g	-0,269868945
452	Releases to air	Sulfur oxides	kg	0,014382001
453	Releases to air	Sulfuric acid, dimethyl ester	μg	2,4975E-258
454	Releases to air	t-Butyl methyl ether	mg	50,77692879
455	Releases to air	Tar	μg	0,012225924
456	Releases to air	Technetium-99	mBq	-39,92675282
457	Releases to air	Tellurium-123m	mBq	2,312418757
458	Releases to air	Thallium	mg	2,4975E-258
459	Releases to air	Thorium	mg	0,097147176
460	Releases to air	Thorium-228	Bq	1,16556E-05
461	Releases to air	Thorium-230	Bq	-0,077684997
462	Releases to air	Thorium-232	Bq	0,003087599
463	Releases to air	Thorium-234	Bq	2,4975E-258
464	Releases to air	Tin	mg	0,000150474
465	Releases to air	Titanium	g	8,00871E-08
466	Releases to air	Toluene	g	-0,000120119
467	Releases to air	Toluene, 2,4-dinitro-	μg	4,8828E-06
468	Releases to air	Uranium	mg	2,4975E-258
469	Releases to air	Uranium-234	Bq	0,017249783
470	Releases to air	Uranium-235	Bq	8,61491E-06
471	Releases to air	Uranium-238	Bq	-0,013776413
472	Releases to air	Uranium alpha	Bq	0,000631952
473	Releases to air	Vanadium	g	2,4975E-258
474	Releases to air	Vinyl acetate	μg	0,025873162

475	Releases to air	VOC, volatile organic compounds	kg	5,39323E-06
476	Releases to air	Water	kg	-0,020415646
477	Releases to air	Xenon-131m	Bq	0,00108739
478	Releases to air	Xenon-133	kBq	2,4975E-258
479	Releases to air	Xenon-133m	Bq	1,00597E-06
480	Releases to air	Xenon-135	kBq	2,96154E-10
481	Releases to air	Xenon-135m	kBq	-7,84073E-07
482	Releases to air	Xenon-137	Bq	4,93456E-08
483	Releases to air	Xenon-138	Bq	2,4975E-258
484	Releases to air	Xylene	g	0,095929916
485	Releases to air	Zinc	g	4,79095E-05
486	Releases to air	Zinc-65	mBq	-0,076613723
487	Releases to air	Zirconium	mg	0,003514428
488	Releases to air	Zirconium-95	mBq	2,4975E-258
489	Releases to air	1-Butanol	ng	0,153933639
490	Releases to air	1-Propanol	µg	3,77526E-05
491	Releases to air	1,4-Butanediol	µg	-0,121166727
492	Releases to air	2-Propanol	g	0,00677116
493	Releases to air	Acenaphthene	µg	2,4975E-258
494	Releases to air	Acetaldehyde	g	0,153118737
495	Releases to air	Acetic acid	g	7,48267E-05
496	Releases to air	Acetone	g	-0,122256681
497	Releases to air	Acrolein	mg	0,005599519
498	Releases to air	Acrylic acid	mg	2,4975E-258
499	Releases to air	Aldehydes, unspecified	mg	0,043981034
500	Releases to air	Aluminum	g	1,07865E-05
501	Releases to air	Ammonia	g	-0,03461906
502	Releases to air	Ammonium carbonate	mg	0,001934617
503	Releases to air	Antimony	mg	2,4975E-258
504	Releases to air	Arsenic	mg	0,024310511
505	Releases to air	Arsine	ng	3,08561E-06
506	Releases to air	Barium	mg	-0,017417304
507	Releases to air	Benzaldehyde	mg	0,002445761
508	Releases to air	Benzene	g	2,4975E-258
509	Releases to air	Benzene, ethyl-	g	0,879620427
510	Releases to air	Benzene, hexachloro-	µg	0,000215729
511	Releases to air	Benzene, pentachloro-	µg	-0,692381004

512	Releases to air	Benzo(a)pyrene	mg	0,038692329
513	Releases to air	Beryllium	mg	2,4975E-258
514	Releases to air	Boron	g	0,020175756
515	Releases to air	Boron trifluoride	pg	9,20406E-06
516	Releases to air	Bromine	mg	-0,016098223
517	Releases to air	Butane	kg	0,000733405
518	Releases to air	Butene	g	2,4975E-258
519	Releases to air	Butyrolactone	µg	0,307968157
520	Releases to air	Cadmium	mg	6,47188E-05
521	Releases to air	Calcium	g	-0,242979924
522	Releases to air	Carbon dioxide, biogenic	kg	0,01297106
523	Releases to air	Carbon dioxide, fossil	kg	2,4975E-258
524	Releases to air	Carbon disulfide	µg	4,11303E-06
525	Releases to air	Carbon monoxide, biogenic	kg	1,48245E-09
526	Releases to air	Carbon monoxide, fossil	kg	-3,2273E-06
527	Releases to air	Chlorine	g	1,82796E-07
528	Releases to air	Chloroform	mg	2,4975E-258
529	Releases to air	Chlorosilane, trimethyl-	µg	1,85767E-06
530	Releases to air	Chromium	mg	9,88711E-10
531	Releases to air	Chromium VI	mg	-1,48292E-06
532	Releases to air	Cobalt	g	6,02804E-08
533	Releases to air	Copper	g	2,4975E-258
534	Releases to air	Cumene	g	6,95272E-05
535	Releases to air	Cyanide	mg	3,47234E-08
536	Releases to air	Dinitrogen monoxide	g	-5,55274E-05
537	Releases to air	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	µg	2,54715E-06
538	Releases to air	Ethane	g	2,4975E-258
539	Releases to air	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	mg	0,04010399
540	Releases to air	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	µg	2,97609E-06
541	Releases to air	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	µg	-0,028508486
542	Releases to air	Ethane, 1,2-dichloro-	mg	0,004351077
543	Releases to air	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	mg	2,4975E-258
544	Releases to air	Ethanol	g	0,004018174
545	Releases to air	Ethene	g	2,3843E-06
546	Releases to air	Ethene, chloro-	mg	-0,00320696

547	Releases to air	Ethene, tetrachloro-	µg	0,000148802
548	Releases to air	Ethyl acetate	g	2,4975E-258
549	Releases to air	Ethyl cellulose	mg	0,007776962
550	Releases to air	Ethylene diamine	µg	1,61797E-06
551	Releases to air	Ethylene oxide	mg	-0,006136705
552	Releases to air	Ethyne	g	0,000326681
553	Releases to air	Fluorine	mg	2,4975E-258
554	Releases to air	Fluosilicic acid	g	1,05154E-06
555	Releases to air	Formaldehyde	g	1,61823E-10
556	Releases to air	Formic acid	mg	-8,3164E-07
557	Releases to air	Heat, waste	MJ	4,1336E-08
558	Releases to air	Heptane	g	2,4975E-258
559	Releases to air	Hexane	g	0,000391998
560	Releases to air	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, cyclic	mg	2,79655E-07
561	Releases to air	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	g	-0,000296472
562	Releases to air	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	g	2,34893E-05
563	Releases to air	Hydrocarbons, aromatic	g	2,4975E-258
564	Releases to air	Hydrocarbons, chlorinated	mg	1042,567031
565	Releases to air	Hydrogen	g	0,638951799
566	Releases to air	Hydrogen chloride	g	-828,3813927
567	Releases to air	Hydrogen fluoride	g	36,01869476
568	Releases to air	Hydrogen peroxide	mg	2,4975E-258
569	Releases to air	Hydrogen sulfide	mg	288,6313218
570	Releases to air	Iodine	mg	1,87699E-07
571	Releases to air	Iron	g	-230,9050462
572	Releases to air	Isocyanic acid	g	8,926751774
573	Releases to air	Lead	g	2,4975E-258
574	Releases to air	Lead-210	Bq	0,030721878
575	Releases to air	m-Xylene	g	8,12382E-05
576	Releases to air	Magnesium	g	-0,024435255
577	Releases to air	Manganese	g	0,00115411
578	Releases to air	Mercury	mg	2,4975E-258
579	Releases to air	Methane, biogenic	kg	79,8091785
580	Releases to air	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	ng	0,058428867
581	Releases to air	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	mg	28,23393222
582	Releases to air	Methane, dichloro-, HCC-30	µg	2,651528746
583	Releases to air	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	µg	2,4975E-258

584	Releases to air	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	µg	0,072569438
585	Releases to air	Methane, fossil	kg	2,5289E-05
586	Releases to air	Methane, monochloro-, R-40	µg	-0,057223825
587	Releases to air	Methane, tetrachloro-, CFC-10	mg	0,003103706
588	Releases to air	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	µg	2,4975E-258
589	Releases to air	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	µg	0,255341829
590	Releases to air	Methane, trifluoro-, HFC-23	µg	0,000149091
591	Releases to air	Methanol	g	-0,160397668
592	Releases to air	Methyl acrylate	mg	0,008796669
593	Releases to air	Methyl amine	µg	2,4975E-258
594	Releases to air	Methyl borate	ng	0,000226638
595	Releases to air	Methyl ethyl ketone	g	9,48619E-09
596	Releases to air	Methyl formate	µg	-0,000180748
597	Releases to air	Molybdenum	mg	7,52613E-06
598	Releases to air	Monoethanolamine	mg	2,4975E-258
599	Releases to air	Nickel	g	0,005039035
600	Releases to air	Nitrate	g	3,78055E-05
601	Releases to air	Nitrogen oxides	kg	-0,004005798
602	Releases to air	NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	kg	0,000186009
603	Releases to air	Ozone	mg	2,4975E-258
604	Releases to air	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	g	0,00827769
605	Releases to air	Particulates, < 2.5 um	kg	2,59911E-06
606	Releases to air	Particulates, > 10 um	kg	4,668407322
607	Releases to air	Particulates, > 2.5 um, and < 10um	g	0,002138773
608	Releases to air	Pentane	kg	2,4975E-258
609	Releases to air	Phenol	mg	0,02188797
610	Releases to air	Phenol, pentachloro-	µg	5,3122E-06
611	Releases to air	Phosphine	µg	-0,017078219
612	Releases to air	Phosphorus	g	0,001124592
613	Releases to air	Platinum	µg	2,4975E-258
614	Releases to air	Polonium-210	Bq	0,197165289
615	Releases to air	Polychlorinated biphenyls	ng	0,000388313
616	Releases to air	Potassium	g	5,49666999
617	Releases to air	Potassium-40	Bq	0,007544659
618	Releases to air	Propanal	mg	2,4975E-258
619	Releases to air	Propane	kg	0,000145082

620	Releases to air	Propene	g	8,6613E-12
621	Releases to air	Propionic acid	g	-0,000116065
622	Releases to air	Propylene oxide	g	4,48754E-06
623	Releases to air	Radioactive species, other beta emitters	Bq	2,4975E-258
624	Releases to air	Radium-226	Bq	0,002041399
625	Releases to air	Radium-228	Bq	1,66968E-06
626	Releases to air	Radon-220	Bq	-0,001628142
627	Releases to air	Radon-222	Bq	6,78817E-05
628	Releases to air	Scandium	mg	2,4975E-258
629	Releases to air	Selenium	mg	0,018997474
630	Releases to air	Silicon	g	7,14816E-05
631	Releases to air	Silver	mg	0,001998804
632	Releases to air	Sodium	g	0,000953643
633	Releases to air	Sodium chlorate	mg	2,4975E-258
634	Releases to air	Sodium dichromate	mg	0,00133607
635	Releases to air	Sodium formate	mg	1,59812E-06
636	Releases to air	Sodium hydroxide	mg	-0,000376619
637	Releases to air	Strontium	mg	7,11605E-05
638	Releases to air	Styrene	mg	2,4975E-258
639	Releases to air	Sulfate	g	0,631734207
640	Releases to air	Sulfur dioxide	kg	
641	Releases to air	Sulfuric acid	mg	-0,505387366
642	Releases to air	t-Butyl methyl ether	mg	0,019538171
643	Releases to air	Thallium	mg	2,4975E-258
644	Releases to air	Thorium	mg	2,85390824
645	Releases to air	Thorium-228	Bq	0,000930201
646	Releases to air	Thorium-232	Bq	-2,26252967
647	Releases to air	Tin	mg	0,109224069
648	Releases to air	Titanium	mg	2,4975E-258
649	Releases to air	Toluene	g	87,52039269
650	Releases to air	Uranium	mg	
651	Releases to air	Uranium-238	Bq	-70,01631415
652	Releases to air	Vanadium	g	2,706816269
653	Releases to air	Water	mg	2,4975E-258
654	Releases to air	Xylene	g	265,876242
655	Releases to air	Zinc	g	0,131581992
656	Releases to air	Acenaphthene	µg	-211,0978253

657	Releases to air	Acetaldehyde	mg	9,576156766
658	Releases to air	Acetic acid	mg	2,4975E-258
659	Releases to air	Acetone	g	5,148258394
660	Releases to air	Acetonitrile	mg	
661	Releases to air	Acrolein	mg	-4,118606715
662	Releases to air	Actinides, radioactive, unspecified	Bq	0,159224486
663	Releases to air	Aerosols, radioactive, unspecified	Bq	2,4975E-258
664	Releases to air	Aldehydes, unspecified	mg	255,2404605
665	Releases to air	Aluminum	g	0,123334052
666	Releases to air	Ammonia	kg	-202,705131
667	Releases to air	Antimony	mg	9,203835279
668	Releases to air	Antimony-124	mBq	2,4975E-258
669	Releases to air	Antimony-125	mBq	0,000228658
670	Releases to air	Argon-41	Bq	1,33924E-08
671	Releases to air	Arsenic	g	-0,000182794
672	Releases to air	Barium	g	7,1843E-06
673	Releases to air	Barium-140	Bq	2,4975E-258
674	Releases to air	Benzene	g	8,68406E-05
675	Releases to air	Benzene, ethyl-	µg	2,15905E-08
676	Releases to air	Benzo(a)pyrene	g	-6,82304E-05
677	Releases to air	Beryllium	mg	4,00856E-06
678	Releases to air	Boron	g	2,4975E-258
679	Releases to air	Bromine	g	0,001048876
680	Releases to air	Butadiene	µg	4,68481E-07
681	Releases to air	Butane	g	-0,000825761
682	Releases to air	Cadmium	g	4,64482E-05
683	Releases to air	Calcium	g	2,4975E-258
684	Releases to air	Carbon-14	Bq	0,597194565
685	Releases to air	Carbon dioxide, biogenic	kg	4,45482E-06
686	Releases to air	Carbon dioxide, fossil	kg	-0,477753511
687	Releases to air	Carbon dioxide, land transformation	kg	0,018471832
688	Releases to air	Carbon disulfide	g	2,4975E-258
689	Releases to air	Carbon monoxide, biogenic	kg	0,010297636
690	Releases to air	Carbon monoxide, fossil	kg	8,18018E-06
691	Releases to air	Cerium-141	Bq	-0,008210217
692	Releases to air	Cesium-134	mBq	0,000342353
693	Releases to air	Cesium-137	mBq	2,4975E-258

694	Releases to air	Chlorine	mg	0,058953413
695	Releases to air	Chloroform	µg	0,000215856
696	Releases to air	Chromium	g	-0,042176744
697	Releases to air	Chromium-51	mBq	0,002848197
698	Releases to air	Chromium VI	g	2,4975E-258
699	Releases to air	Cobalt	mg	1,42714E-10
700	Releases to air	Cobalt-58	mBq	5,27784E-14
701	Releases to air	Cobalt-60	mBq	-1,02972E-10
702	Releases to air	Copper	g	1,42091E-11
703	Releases to air	Cumene	µg	2,4975E-258
704	Releases to air	Cyanide	g	0,000321892
705	Releases to air	Dinitrogen monoxide	g	1,62753E-07
706	Releases to air	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	µg	-0,000255128
707	Releases to air	Ethane	g	1,35332E-05
708	Releases to air	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	µg	2,4975E-258
709	Releases to air	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	mg	0,037849077
710	Releases to air	Ethane, 1,2-dichloro-	µg	4,94423E-05
711	Releases to air	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	mg	-0,029921403
712	Releases to air	Ethanol	mg	0,00132184
713	Releases to air	Ethene	g	2,4975E-258
714	Releases to air	Ethene, tetrachloro-	µg	1,104730447
715	Releases to air	Ethylene oxide	µg	
716	Releases to air	Ethyne	mg	-0,883784358
717	Releases to air	Fluorine	mg	0,034166921
718	Releases to air	Formaldehyde	g	2,4975E-258
719	Releases to air	Formic acid	mg	3,147158031
720	Releases to air	Furan	mg	0,001273991
721	Releases to air	Heat, waste	MJ	-2,481068186
722	Releases to air	Helium	g	0,138294262
723	Releases to air	Hexane	g	2,4975E-258
724	Releases to air	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, cyclic	mg	24,78826087
725	Releases to air	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	g	2,1908E-07
726	Releases to air	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	g	-19,83059571
727	Releases to air	Hydrocarbons, aromatic	g	0,766659176
728	Releases to air	Hydrocarbons, chlorinated	µg	2,4975E-258

729	Releases to air	Hydrogen-3, Tritium	kBq	2,79801E-05
730	Releases to air	Hydrogen chloride	kg	9,2739E-08
731	Releases to air	Hydrogen fluoride	g	-2,21708E-05
732	Releases to air	Hydrogen sulfide	g	1,27836E-06
733	Releases to air	Iodine	g	2,4975E-258
734	Releases to air	Iodine-129	Bq	0,369261674
735	Releases to air	Iodine-131	Bq	0,000319499
736	Releases to air	Iodine-133	Bq	0,795164722
737	Releases to air	Iodine-135	Bq	0,012672411
738	Releases to air	Iron	g	2,4975E-258
739	Releases to air	Isoprene	mg	0,20742176
740	Releases to air	Krypton-85	Bq	4,99445E-05
741	Releases to air	Krypton-85m	Bq	-0,163099247
742	Releases to air	Krypton-87	Bq	0,009446104
743	Releases to air	Krypton-88	Bq	2,4975E-258
744	Releases to air	Krypton-89	Bq	0,768221473
745	Releases to air	Lanthanum-140	mBq	0,000128751
746	Releases to air	Lead	g	-0,599682177
747	Releases to air	Lead-210	Bq	0,033073292
748	Releases to air	Magnesium	g	2,4975E-258
749	Releases to air	Manganese	g	0,631734207
750	Releases to air	Manganese-54	mBq	
751	Releases to air	Mercury	g	-0,505387366
752	Releases to air	Methane, biogenic	kg	0,019538171
753	Releases to air	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	mg	2,4975E-258
754	Releases to air	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	mg	12,50163412
755	Releases to air	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	g	0,004074773
756	Releases to air	Methane, dichloro-, HCC-30	mg	-9,911081844
757	Releases to air	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	µg	0,47845944
758	Releases to air	Methane, fossil	kg	2,4975E-258
759	Releases to air	Methane, monochloro-, R-40	mg	0,001569916
760	Releases to air	Methanol	g	7,25415E-11
761	Releases to air	Molybdenum	mg	-0,001255929
762	Releases to air	Nickel	g	4,85581E-05
763	Releases to air	Niobium-95	mBq	2,4975E-258
764	Releases to air	Nitrate	g	0,005709545
765	Releases to air	Nitrogen oxides	kg	1,37473E-06

766	Releases to air	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	kg	-0,004489512
767	Releases to air	Noble gases, radioactive, unspecified	kBq	0,000260016
768	Releases to air	Ozone	mg	2,4975E-258
769	Releases to air	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	g	0,021121641
770	Releases to air	Particulates, < 2.5 um	kg	3,53043E-06
771	Releases to air	Particulates, > 10 um	kg	-0,016622074
772	Releases to air	Particulates, > 2.5 um, and < 10um	kg	0,000909468
773	Releases to air	Pentane	g	2,4975E-258
774	Releases to air	Phenol	mg	2,67798E-05
775	Releases to air	Phenol, pentachloro-	mg	7,71511E-12
776	Releases to air	Phosphorus	mg	-2,14234E-05
777	Releases to air	Platinum	µg	8,28661E-07
778	Releases to air	Plutonium-238	µBq	2,4975E-258
779	Releases to air	Plutonium-alpha	µBq	1,8655E-05
780	Releases to air	Polonium-210	Bq	7,86519E-08
781	Releases to air	Potassium	g	-1,47511E-05
782	Releases to air	Potassium-40	Bq	9,34595E-07
783	Releases to air	Propane	g	2,4975E-258
784	Releases to air	Propene	g	0,008588912
785	Releases to air	Protactinium-234	Bq	2,99172E-05
786	Releases to air	Radioactive species, other beta emitters	Bq	-0,006803439
787	Releases to air	Radium-226	Bq	0,000397703
788	Releases to air	Radium-228	Bq	2,4975E-258
789	Releases to air	Radon-220	Bq	6,3458E-06
790	Releases to air	Radon-222	kBq	5,0042E-09
791	Releases to air	Ruthenium-103	µBq	-5,04435E-06
792	Releases to air	Scandium	mg	2,22136E-07
793	Releases to air	Selenium	g	2,4975E-258
794	Releases to air	Silicon	g	28,43092631
795	Releases to air	Silicon tetrafluoride	mg	0,006710842
796	Releases to air	Silver	µg	-22,74011767
797	Releases to air	Silver-110	mBq	0,883369683
798	Releases to air	Sodium	g	2,4975E-258
799	Releases to air	Strontium	g	0,000995686
800	Releases to air	Styrene	mg	7,55296E-06
801	Releases to air	Sulfate	g	-0,000791532

802	Releases to air	Sulfur dioxide	kg	3,67627E-05
803	Releases to air	Sulfur hexafluoride	g	2,4975E-258
804	Releases to air	Sulfuric acid	µg	898,5206726
805	Releases to air	Terpenes	mg	0,086435962
806	Releases to air	Thallium	µg	-581,6764549
807	Releases to air	Thorium	mg	27,97880177
808	Releases to air	Thorium-228	Bq	2,4975E-258
809	Releases to air	Thorium-230	Bq	35,71057027
810	Releases to air	Thorium-232	Bq	0,012373226
811	Releases to air	Thorium-234	Bq	-28,13073631
812	Releases to air	Tin	g	1,527438212
813	Releases to air	Titanium	mg	2,4975E-258
814	Releases to air	Toluene	g	133,3568335
815	Releases to air	Tungsten	µg	0,032011062
816	Releases to air	Uranium	mg	-102,4678377
817	Releases to air	Uranium-234	Bq	6,046357133
818	Releases to air	Uranium-235	Bq	2,4975E-258
819	Releases to air	Uranium-238	Bq	0,011004344
820	Releases to air	Uranium alpha	Bq	2,41643E-09
821	Releases to air	Vanadium	mg	-0,008803332
822	Releases to air	Water	mg	0,000340472
823	Releases to air	Xenon-131m	Bq	2,4975E-258
824	Releases to air	Xenon-133	kBq	0,105643744
825	Releases to air	Xenon-133m	Bq	0,000507267
826	Releases to air	Xenon-135	Bq	-0,083415219
827	Releases to air	Xenon-135m	Bq	0,005598347
828	Releases to air	Xenon-137	Bq	2,4975E-258
829	Releases to air	Xenon-138	Bq	1,416542646
830	Releases to air	Xylene	g	0,005524417
831	Releases to air	Zinc	g	-1,103469841
832	Releases to air	Zinc-65	mBq	0,068867107
833	Releases to air	Zirconium	mg	2,4975E-258
834	Releases to air	Zirconium-95	mBq	0,001946205
835	Releases to air	Aluminum	g	4,73637E-07
836	Releases to air	Antimony	mg	-0,001530335
837	Releases to air	Arsenic	g	8,86256E-05
838	Releases to air	Barium	g	2,4975E-258

839	Releases to air	Beryllium	mg	0,01684201
840	Releases to air	Boron	mg	8,38073E-06
841	Releases to air	Cadmium	mg	0,017736182
842	Releases to air	Calcium	g	0,000625435
843	Releases to air	Chlorine	g	2,4975E-258
844	Releases to air	Chromium VI	mg	0,005206733
845	Releases to air	Cobalt	mg	1,41653E-05
846	Releases to air	Copper	g	-0,004039626
847	Releases to air	Fluorine	g	0,000236916
848	Releases to air	Iron	g	2,4975E-258
849	Releases to air	Lead	g	0,001072083
850	Releases to air	Magnesium	g	1,64977E-07
851	Releases to air	Manganese	g	-0,000847888
852	Releases to air	Mercury	mg	4,21432E-05
853	Releases to air	Molybdenum	mg	2,4975E-258
854	Releases to air	Nickel	mg	0,0048391
855	Releases to air	Nitrate	g	3,6894E-06
856	Releases to air	Particulates, < 2.5 um	g	-0,003857443
857	Releases to air	Particulates, > 10 um	g	0,000160447
858	Releases to air	Particulates, > 2.5 um, and < 10um	g	2,4975E-258
859	Releases to air	Phosphorus	mg	0,0041158
860	Releases to air	Potassium	g	1,0573E-05
861	Releases to air	Radon-222	kBq	0,084197614
862	Releases to air	Scandium	g	0,000184985
863	Releases to air	Selenium	mg	2,4975E-258
864	Releases to air	Silicon	g	0,166498708
865	Releases to air	Silver	mg	4,00891E-05
866	Releases to air	Sodium	g	-0,130920742
867	Releases to air	Strontium	g	0,007582465
868	Releases to air	Sulfate	g	2,4975E-258
869	Releases to air	Tin	mg	0,630708899
870	Releases to air	Titanium	g	0,000136126
871	Releases to air	Tungsten	mg	-0,483743871
872	Releases to air	Vanadium	g	0,027184485
873	Releases to air	Zinc	g	2,4975E-258
874	Releases to air	Benzene	µg	8,22801E-06
875	Releases to air	Butadiene	µg	4,24045E-09

876	Releases to air	Cadmium	ng	-6,20229E-06
877	Releases to air	Carbon dioxide, fossil	g	5,8837E-07
878	Releases to air	Carbon monoxide, fossil	mg	2,4975E-258
879	Releases to air	Chromium	ng	0,033817769
880	Releases to air	Copper	µg	4,53508E-06
881	Releases to air	Dinitrogen monoxide	µg	-0,027046598
882	Releases to air	Ethylene oxide	µg	0,00105253
883	Releases to air	Formaldehyde	µg	2,4975E-258
884	Releases to air	Heat, waste	kJ	5,84051E-05
885	Releases to air	Hydrogen chloride	ng	2,89868E-07
886	Releases to air	Lead	ng	-4,60995E-05
887	Releases to air	Mercury	pg	3,13854E-06
888	Releases to air	Methane, fossil	µg	2,4975E-258
889	Releases to air	Nickel	ng	0,02882975
890	Releases to air	Nitrogen oxides	mg	0,000133878
891	Releases to air	NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	µg	0,063177584
892	Releases to air	Particulates, < 2.5 um	µg	0,001511146
893	Releases to air	Selenium	ng	2,4975E-258
894	Releases to air	Sulfur dioxide	µg	1,21215E-10
895	Releases to air	Water	mg	4,48277E-14
896	Releases to air	Zinc	ng	-8,74603E-11
897	Releases to water	2-Hexanone	mg	1,20686E-11
898	Releases to water	4-Methyl-2-pentanone	mg	2,4975E-258
899	Releases to water	Acenaphthylene	mg	0,000123715
900	Releases to water	Acetone	mg	5,86615E-08
901	Releases to water	Acidity, unspecified	mg	-9,79458E-05
902	Releases to water	Acids, unspecified	g	5,28423E-06
903	Releases to water	Aluminum	kg	2,4975E-258
904	Releases to water	Americium-241	Bq	0,000422719
905	Releases to water	Ammonia	g	1,7736E-07
906	Releases to water	Ammonia, as N	g	0,000192043
907	Releases to water	Ammonium, ion	mg	1,81361E-05
908	Releases to water	Antimony	mg	2,4975E-258
909	Releases to water	Antimony-122	mBq	193,2750575
910	Releases to water	Antimony-124	Bq	2,47466E-06
911	Releases to water	Antimony-125	Bq	-154,6198994

912	Releases to water	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	mg	5,977713889
913	Releases to water	Arsenic, ion	g	2,4975E-258
914	Releases to water	Barite	kg	0,585637036
915	Releases to water	Barium	kg	0,002806684
916	Releases to water	Barium-140	mBq	-0,462413727
917	Releases to water	Benzene	g	0,031017655
918	Releases to water	Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	µg	2,4975E-258
919	Releases to water	Benzene, chloro-	ng	235,6072517
920	Releases to water	Benzene, ethyl-	g	0,383807174
921	Releases to water	Benzene, pentamethyl-	µg	-84,76123534
922	Releases to water	Benzenes, alkylated, unspecified	mg	8,555694241
923	Releases to water	Benzoic acid	g	2,4975E-258
924	Releases to water	Beryllium	mg	0,00250767
925	Releases to water	Biphenyl	mg	1,89604E-06
926	Releases to water	BOD5, Biological Oxygen Demand	kg	-0,001994768
927	Releases to water	Boron	g	9,46422E-05
928	Releases to water	Bromide	g	2,4975E-258
929	Releases to water	Bromine	g	10,10016363
930	Releases to water	Cadmium-109	mBq	0,003716706
931	Releases to water	Cadmium, ion	g	-7,974723081
932	Releases to water	Calcium, ion	kg	0,442391965
933	Releases to water	Carbon-14	Bq	2,4975E-258
934	Releases to water	Cerium-141	mBq	30,96987758
935	Releases to water	Cerium-144	Bq	0,024172652
936	Releases to water	Cesium	mg	-22,30560649
937	Releases to water	Cesium-134	Bq	1,31885988
938	Releases to water	Cesium-136	mBq	2,4975E-258
939	Releases to water	Cesium-137	kBq	1,346184768
940	Releases to water	Chloride	kg	0,000330364
941	Releases to water	Chlorinated solvents, unspecified	mg	-1,058605228
942	Releases to water	Chloroform	mg	0,061245229
943	Releases to water	Chromium	g	2,4975E-258
944	Releases to water	Chromium-51	Bq	3,238388483
945	Releases to water	Chromium VI	g	0,000541306
946	Releases to water	Chromium, ion	kg	-2,548510719
947	Releases to water	Cobalt	g	0,139440994
948	Releases to water	Cobalt-57	mBq	2,4975E-258

949	Releases to water	Cobalt-58	Bq	0,094384737
950	Releases to water	Cobalt-60	Bq	
951	Releases to water	COD, Chemical Oxygen Demand	kg	-0,07550779
952	Releases to water	Copper, ion	kg	0,002919116
953	Releases to water	Curium alpha	Bq	2,4975E-258
954	Releases to water	Cyanide	g	4,998357654
955	Releases to water	Decane	mg	0,001629161
956	Releases to water	Detergent, oil	g	-3,962612512
957	Releases to water	Dibenzofuran	µg	0,191295904
958	Releases to water	Dibenzothiophene	µg	2,4975E-258
959	Releases to water	DOC, Dissolved Organic Carbon	kg	2788,666884
960	Releases to water	Docosane	mg	
961	Releases to water	Dodecane	mg	-2230,933507
962	Releases to water	Eicosane	mg	86,24742941
963	Releases to water	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	µg	2,4975E-258
964	Releases to water	Ethane, dichloro-	mg	1,521663543
965	Releases to water	Ethane, hexachloro-	ng	0,00049597
966	Releases to water	Ethene, chloro-	µg	-1,206348847
967	Releases to water	Ethene, tetrachloro-	µg	0,05823673
968	Releases to water	Ethene, trichloro-	mg	2,4975E-258
969	Releases to water	Fatty acids as C	g	5,98163E-05
970	Releases to water	Fluorene, 1-methyl-	µg	
971	Releases to water	Fluorenes, alkylated, unspecified	mg	-4,78531E-05
972	Releases to water	Fluoride	g	1,84999E-06
973	Releases to water	Fluorine	mg	2,4975E-258
974	Releases to water	Formaldehyde	mg	0,000237855
975	Releases to water	Glutaraldehyde	mg	5,72701E-08
976	Releases to water	Heat, waste	MJ	-0,00018703
977	Releases to water	Hexadecane	mg	1,08321E-05
978	Releases to water	Hexanoic acid	mg	2,4975E-258
979	Releases to water	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	g	0,000879996
980	Releases to water	Hydrocarbons, aliphatic, alkenes, unspecified	mg	1,47091E-07
981	Releases to water	Hydrocarbons, aromatic	g	-0,000692529
982	Releases to water	Hydrocarbons, unspecified	g	3,78915E-05
983	Releases to water	Hydrogen-3, Tritium	kBq	2,4975E-258
984	Releases to water	Hydrogen sulfide	mg	6237,544065
985	Releases to water	Hypochlorite	g	

986	Releases to water	Hypochlorous acid	g	-4990,035252
987	Releases to water	Iodide	g	192,913734
988	Releases to water	Iodine-129	Bq	2,4975E-258
989	Releases to water	Iodine-131	Bq	148,3421073
990	Releases to water	Iodine-133	Bq	0,088533275
991	Releases to water	Iron	kg	-117,9598672
992	Releases to water	Iron-59	mBq	5,111313907
993	Releases to water	Iron, ion	g	2,4975E-258
994	Releases to water	Lanthanum-140	mBq	0,00338927
995	Releases to water	Lead	kg	
996	Releases to water	Lead-210	Bq	-0,002711416
997	Releases to water	Lead-210/kg	pg	0,000104823
998	Releases to water	Lithium, ion	g	2,4975E-258
999	Releases to water	m-Xylene	mg	0,887110912
1000	Releases to water	Magnesium	kg	0,000289144
1001	Releases to water	Manganese	kg	-0,703286368
1002	Releases to water	Manganese-54	Bq	0,033951289
1003	Releases to water	Mercury	g	2,4975E-258
1004	Releases to water	Metallic ions, unspecified	µg	57434,18515
1005	Releases to water	Methane, dichloro-, HCC-30	mg	
1006	Releases to water	Methane, monochloro-, R-40	µg	-45947,34812
1007	Releases to water	Methane, tetrachloro-, CFC-10	µg	1776,315005
1008	Releases to water	Methanol	mg	2,4975E-258
1009	Releases to water	Methyl ethyl ketone	µg	119468,5452
1010	Releases to water	Molybdenum	g	73,21796407
1011	Releases to water	Molybdenum-99	mBq	-94924,85089
1012	Releases to water	n-Hexacosane	mg	4127,409458
1013	Releases to water	Naphthalene	mg	2,4975E-258
1014	Releases to water	Naphthalene, 2-methyl-	mg	1742,694457
1015	Releases to water	Naphthalenes, alkylated, unspecified	µg	0,654109225
1016	Releases to water	Neptunium-237	Bq	-1382,377102
1017	Releases to water	Nickel	mg	65,47615253
1018	Releases to water	Nickel, ion	kg	2,4975E-258
1019	Releases to water	Niobium-95	mBq	0,041258975
1020	Releases to water	Nitrate	g	0,000109357
1021	Releases to water	Nitrate compounds	µg	-0,032028983
1022	Releases to water	Nitric acid	mg	0,001879433

1023	Releases to water	Nitrite	g	2,4975E-258
1024	Releases to water	Nitrogen, organic bound	g	1942,120816
1025	Releases to water	Nitrogen, total	g	0,069458104
1026	Releases to water	o-Cresol	mg	-1550,067689
1027	Releases to water	o-Xylene	µg	63,31565911
1028	Releases to water	Octadecane	mg	2,4975E-258
1029	Releases to water	Oils, unspecified	kg	63,33759792
1030	Releases to water	p-Cresol	mg	0,499834981
1031	Releases to water	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	mg	-50,33954535
1032	Releases to water	Phenanthrene	µg	2,342263593
1033	Releases to water	Phenanthrenes, alkylated, unspecified	µg	2,4975E-258
1034	Releases to water	Phenol	g	14,24191602
1035	Releases to water	Phenol, 2,4-dimethyl-	mg	0,006456533
1036	Releases to water	Phenols, unspecified	g	30,1958657
1037	Releases to water	Phosphate	kg	0,559569249
1038	Releases to water	Phosphorus	mg	2,4975E-258
1039	Releases to water	Phosphorus compounds, unspecified	mg	119,3399553
1040	Releases to water	Phthalate, dimethyl tere-	µg	0,028739486
1041	Releases to water	Phthalate, dioctyl-	µg	-93,83907147
1042	Releases to water	Phthalate, p-dibutyl-	µg	5,434781807
1043	Releases to water	Plutonium-241	Bq	2,4975E-258
1044	Releases to water	Plutonium-alpha	Bq	465,2591328
1045	Releases to water	Polonium-210	Bq	0,115988767
1046	Releases to water	Potassium	kg	-356,5438251
1047	Releases to water	Potassium-40	Bq	20,11361875
1048	Releases to water	Protactinium-234	Bq	2,4975E-258
1049	Releases to water	Radioactive species, alpha emitters	mBq	6,59621E-05
1050	Releases to water	Radioactive species, from fission and activation	Bq	
1051	Releases to water	Radioactive species, Nuclides, unspecified	Bq	-5,27696E-05
1052	Releases to water	Radium-224	Bq	2,04006E-06
1053	Releases to water	Radium-226	Bq	2,4975E-258
1054	Releases to water	Radium-226/kg	ng	4,89715E-07
1055	Releases to water	Radium-228	Bq	9,19075E-15
1056	Releases to water	Radium-228/kg	pg	-3,91772E-07
1057	Releases to water	Ruthenium	mg	1,51459E-08

1058	Releases to water	Ruthenium-103	mBq	2,4975E-258
1059	Releases to water	Ruthenium-106	Bq	2,87459E-05
1060	Releases to water	Salts, unspecified	kg	6,4468E-08
1061	Releases to water	Selenium	kg	-2,23253E-05
1062	Releases to water	Silicon	g	1,71661E-06
1063	Releases to water	Silver	g	2,4975E-258
1064	Releases to water	Silver-110	Bq	0,001096527
1065	Releases to water	Silver, ion	mg	1,79647E-06
1066	Releases to water	Sodium-24	Bq	-0,000861405
1067	Releases to water	Sodium, ion	kg	4,04245E-05
1068	Releases to water	Solids, inorganic	µg	2,4975E-258
1069	Releases to water	Solved solids	kg	1,4265E-05
1070	Releases to water	Solved substances	kg	
1071	Releases to water	Strontium	kg	-1,1412E-05
1072	Releases to water	Strontium-89	Bq	4,41185E-07
1073	Releases to water	Strontium-90	Bq	2,4975E-258
1074	Releases to water	Sulfate	kg	4,00833E-07
1075	Releases to water	Sulfide	g	1,4548E-10
1076	Releases to water	Sulfur	g	-2,88651E-07
1077	Releases to water	Sulfur trioxide	g	4,04084E-08
1078	Releases to water	Suspended solids, unspecified	kg	2,4975E-258
1079	Releases to water	t-Butyl methyl ether	mg	0,018728128
1080	Releases to water	Tar	ng	4,47077E-06
1081	Releases to water	Technetium-99	Bq	-0,014979523
1082	Releases to water	Technetium-99m	mBq	0,000581838
1083	Releases to water	Tellurium-123m	mBq	2,4975E-258
1084	Releases to water	Tellurium-132	mBq	0,005841203
1085	Releases to water	Tetradecane	mg	4,60783E-06
1086	Releases to water	Thallium	mg	-0,004658341
1087	Releases to water	Thorium-228	Bq	0,000193294
1088	Releases to water	Thorium-230	kBq	2,4975E-258
1089	Releases to water	Thorium-232	Bq	0,272413045
1090	Releases to water	Thorium-234	Bq	0,001377961
1091	Releases to water	Tin	mg	-0,203825398
1092	Releases to water	Tin, ion	mg	0,011601446
1093	Releases to water	Titanium, ion	kg	2,4975E-258
1094	Releases to water	TOC, Total Organic Carbon	kg	0,081894976

1095	Releases to water	Toluene	g	0,000421962
1096	Releases to water	Tributyltin compounds	g	-0,063156037
1097	Releases to water	Triethylene glycol	g	0,003475016
1098	Releases to water	Tungsten	mg	2,4975E-258
1099	Releases to water	Undissolved substances	kg	2,887010458
1100	Releases to water	Uranium-234	Bq	2,96257E-07
1101	Releases to water	Uranium-235	Bq	-2,309587034
1102	Releases to water	Uranium-238	Bq	0,089307389
1103	Releases to water	Uranium alpha	kBq	2,4975E-258
1104	Releases to water	Vanadium	mg	1,59452E-05
1105	Releases to water	Vanadium, ion	kg	2,01028E-08
1106	Releases to water	VOC, volatile organic compounds as C	g	-1,25294E-05
1107	Releases to water	Xylene	g	6,95956E-07
1108	Releases to water	Yttrium	mg	2,4975E-258
1109	Releases to water	Yttrium-90	mBq	0,00120856
1110	Releases to water	Zinc	g	3,07019E-07
1111	Releases to water	Zinc-65	Bq	-0,000951384
1112	Releases to water	Zinc, ion	kg	5,4104E-05
1113	Releases to water	Zirconium-95	Bq	2,4975E-258
1114	Releases to water	Aluminum	g	0,00279327
1115	Releases to water	Ammonium, ion	g	1,14735E-06
1116	Releases to water	Antimony	g	-0,002202461
1117	Releases to water	Arsenic, ion	g	0,000113759
1118	Releases to water	Barium	mg	2,4975E-258
1119	Releases to water	Beryllium	mg	13,83594443
1120	Releases to water	BOD5, Biological Oxygen Demand	mg	
1121	Releases to water	Boron	g	-11,06875555
1122	Releases to water	Bromine	g	0,427915807
1123	Releases to water	Cadmium, ion	mg	2,4975E-258
1124	Releases to water	Calcium, ion	g	980,4211854
1125	Releases to water	Chloride	kg	0,341478092
1126	Releases to water	Chromium VI	g	-777,5054831
1127	Releases to water	Chromium, ion	mg	37,19851528
1128	Releases to water	Cobalt	mg	2,4975E-258
1129	Releases to water	COD, Chemical Oxygen Demand	mg	0,57814069
1130	Releases to water	Copper, ion	mg	1,70557E-11
1131	Releases to water	Fluoride	g	-0,462512551

1132	Releases to water	Iodide	mg	0,017880641
1133	Releases to water	Iron, ion	kg	2,4975E-258
1134	Releases to water	Lead	mg	0,000143885
1135	Releases to water	Lead-210	mBq	6,48261E-07
1136	Releases to water	Magnesium	g	-0,000113695
1137	Releases to water	Manganese	g	7,41459E-06
1138	Releases to water	Mercury	µg	2,4975E-258
1139	Releases to water	Molybdenum	g	0,156108888
1140	Releases to water	Nickel, ion	mg	0,00583947
1141	Releases to water	Nitrate	g	-0,114003716
1142	Releases to water	Phosphate	kg	0,00701391
1143	Releases to water	Phosphorus	g	2,4975E-258
1144	Releases to water	Polonium-210	mBq	3,5989E-06
1145	Releases to water	Potassium-40	mBq	2,20563E-09
1146	Releases to water	Potassium, ion	kg	-2,85954E-06
1147	Releases to water	Radium-226	mBq	1,24335E-07
1148	Releases to water	Scandium	mg	2,4975E-258
1149	Releases to water	Selenium	g	0,000452475
1150	Releases to water	Silicon	g	9,40351E-06
1151	Releases to water	Silver, ion	mg	8,43891E-05
1152	Releases to water	Sodium, ion	kg	2,17818E-05
1153	Releases to water	Solids, inorganic	kg	2,4975E-258
1154	Releases to water	Solved solids	kg	0,647822515
1155	Releases to water	Strontium	g	
1156	Releases to water	Sulfate	kg	-0,518258012
1157	Releases to water	Thallium	mg	0,020035748
1158	Releases to water	Thorium-228	mBq	2,4975E-258
1159	Releases to water	Tin, ion	mg	28,1602449
1160	Releases to water	Titanium, ion	mg	0,00917853
1161	Releases to water	Tungsten	g	-22,32496081
1162	Releases to water	Uranium-238	mBq	1,077741919
1163	Releases to water	Vanadium, ion	mg	2,4975E-258
1164	Releases to water	Zinc, ion	g	536,276916
1165	Releases to water	Aluminum	kg	
1166	Releases to water	Ammonium, ion	kg	-429,0215328
1167	Releases to water	Antimony	g	16,585884
1168	Releases to water	Arsenic, ion	g	2,4975E-258

1169	Releases to water	Barium	kg	4594,123186
1170	Releases to water	Beryllium	g	1,761615959
1171	Releases to water	BOD5, Biological Oxygen Demand	kg	-3644,337149
1172	Releases to water	Boron	kg	172,1487944
1173	Releases to water	Bromine	g	2,4975E-258
1174	Releases to water	Cadmium, ion	g	27051,95275
1175	Releases to water	Calcium, ion	kg	
1176	Releases to water	Chloride	kg	-21641,5622
1177	Releases to water	Chromium VI	g	836,6583325
1178	Releases to water	Cobalt	g	2,4975E-258
1179	Releases to water	COD, Chemical Oxygen Demand	kg	4000,390407
1180	Releases to water	Copper, ion	kg	1,496393224
1181	Releases to water	DOC, Dissolved Organic Carbon	kg	-3173,10398
1182	Releases to water	Fluoride	kg	150,4185016
1183	Releases to water	Heat, waste	MJ	2,4975E-258
1184	Releases to water	Hydrogen sulfide	g	28,81530013
1185	Releases to water	Iodide	mg	0,006714992
1186	Releases to water	Iron, ion	kg	-23,04757527
1187	Releases to water	Lead	kg	0,895292882
1188	Releases to water	Magnesium	kg	2,4975E-258
1189	Releases to water	Manganese	kg	0,000995686
1190	Releases to water	Mercury	g	7,55296E-06
1191	Releases to water	Molybdenum	g	-0,000791532
1192	Releases to water	Nickel, ion	g	3,67627E-05
1193	Releases to water	Nitrate	g	2,4975E-258
1194	Releases to water	Nitrite	g	2745,510045
1195	Releases to water	Nitrogen, organic bound	kg	0,263765729
1196	Releases to water	Phosphate	kg	-1619,04293
1197	Releases to water	Potassium, ion	kg	85,62613281
1198	Releases to water	Scandium	g	2,4975E-258
1199	Releases to water	Selenium	g	35,97437615
1200	Releases to water	Silicon	kg	0,012437067
1201	Releases to water	Silver, ion	g	-28,33636915
1202	Releases to water	Sodium, ion	kg	1,541188162
1203	Releases to water	Strontium	g	2,4975E-258
1204	Releases to water	Sulfate	kg	138,012266
1205	Releases to water	Thallium	g	0,032743512

1206	Releases to water	Tin, ion	g	-100,9452387
1207	Releases to water	Titanium, ion	kg	6,212635965
1208	Releases to water	TOC, Total Organic Carbon	kg	2,4975E-258
1209	Releases to water	Tungsten	g	1,543395774
1210	Releases to water	Vanadium, ion	g	2,24983E-05
1211	Releases to water	Zinc, ion	kg	-1,234613062
1212	Releases to water	Arsenic, ion	ng	0,04782409
1213	Releases to water	Cadmium, ion	ng	2,4975E-258
1214	Releases to water	Calcium, ion	g	0,000364392
1215	Releases to water	Copper, ion	µg	1,80129E-06
1216	Releases to water	DOC, Dissolved Organic Carbon	mg	-0,000287697
1217	Releases to water	Lead	ng	1,9302E-05
1218	Releases to water	Mercury	ng	2,4975E-258
1219	Releases to water	Nickel, ion	ng	0,307038451
1220	Releases to water	Zinc, ion	ng	0,00198752
1221	Releases to water	Acenaphthene	mg	8,722351135
1222	Releases to water	Acenaphthylene	µg	0,01519769
1223	Releases to water	Actinides, radioactive, unspecified	Bq	2,4975E-258
1224	Releases to water	Aluminum	g	5,50197E-09
1225	Releases to water	Ammonium, ion	g	2,03473E-12
1226	Releases to water	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	mg	-3,96982E-09
1227	Releases to water	Arsenic, ion	mg	5,47793E-10
1228	Releases to water	Barite	kg	2,4975E-258
1229	Releases to water	Barium	g	0,00047982
1230	Releases to water	Benzene	g	1,78395E-07
1231	Releases to water	Benzene, ethyl-	g	-0,000364911
1232	Releases to water	BOD5, Biological Oxygen Demand	kg	3,22661E-05
1233	Releases to water	Boron	g	2,4975E-258
1234	Releases to water	Bromine	g	0,002200961
1235	Releases to water	Cadmium, ion	mg	3,37405E-06
1236	Releases to water	Calcium, ion	kg	-0,001158553
1237	Releases to water	Carboxylic acids, unspecified	kg	0,000106022
1238	Releases to water	Cesium	mg	2,4975E-258
1239	Releases to water	Cesium-137	Bq	0,006911446
1240	Releases to water	Chloride	kg	2,55993E-05
1241	Releases to water	Chlorinated solvents, unspecified	µg	-0,005279848
1242	Releases to water	Chromium, ion	g	0,00041805

1243	Releases to water	Cobalt	mg	2,4975E-258
1244	Releases to water	COD, Chemical Oxygen Demand	kg	0,00090913
1245	Releases to water	Copper, ion	mg	3,5355E-07
1246	Releases to water	Cyanide	g	-0,000721617
1247	Releases to water	DOC, Dissolved Organic Carbon	kg	6,08098E-05
1248	Releases to water	Fluoride	g	2,4975E-258
1249	Releases to water	Glutaraldehyde	mg	1,046752049
1250	Releases to water	Heat, waste	MJ	0,00025264
1251	Releases to water	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	g	-0,836795099
1252	Releases to water	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	g	0,032900063
1253	Releases to water	Hydrocarbons, aromatic	g	2,4975E-258
1254	Releases to water	Hydrocarbons, unspecified	g	1086,877833
1255	Releases to water	Hydrogen-3, Tritium	kBq	0,104547339
1256	Releases to water	Hypochlorite	g	-341,1626573
1257	Releases to water	Iodide	g	34,1716867
1258	Releases to water	Iron, ion	g	2,4975E-258
1259	Releases to water	Lead	g	0,000125097
1260	Releases to water	Lead-210	Bq	3,00671E-07
1261	Releases to water	Magnesium	kg	-9,73123E-05
1262	Releases to water	Manganese	g	6,21465E-06
1263	Releases to water	Mercury	mg	2,4975E-258
1264	Releases to water	Methanol	g	11,20655115
1265	Releases to water	Molybdenum	mg	0,003738341
1266	Releases to water	Nickel, ion	mg	-8,825960111
1267	Releases to water	Nitrate	g	0,483108815
1268	Releases to water	Nitrite	g	2,4975E-258
1269	Releases to water	Nitrogen	g	43,39764317
1270	Releases to water	Nitrogen, organic bound	g	0,00985899
1271	Releases to water	Oils, unspecified	kg	-32,29015695
1272	Releases to water	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	g	1,936449176
1273	Releases to water	Phenol	g	2,4975E-258
1274	Releases to water	Phosphate	g	7,97964E-05
1275	Releases to water	Phosphorus	g	7,63507E-08
1276	Releases to water	Polonium-210	Bq	-6,34375E-05
1277	Releases to water	Potassium-40	Bq	3,0898E-06
1278	Releases to water	Potassium, ion	kg	2,4975E-258
1279	Releases to water	Radioactive species, Nuclides, unspecified	Bq	1,74826E-08

1280	Releases to water	Radium-224	Bq	
1281	Releases to water	Radium-226	Bq	-1,39861E-08
1282	Releases to water	Radium-228	Bq	5,407E-10
1283	Releases to water	Rubidium	g	2,4975E-258
1284	Releases to water	Selenium	mg	5,46375E-06
1285	Releases to water	Silicon	mg	4,40986E-09
1286	Releases to water	Silver, ion	mg	-4,29801E-06
1287	Releases to water	Sodium, ion	kg	4,56934E-07
1288	Releases to water	Strontium	g	2,4975E-258
1289	Releases to water	Strontium-90	Bq	3,58219E-07
1290	Releases to water	Sulfate	kg	1,58509E-10
1291	Releases to water	Sulfide	mg	-2,80736E-07
1292	Releases to water	Sulfur	g	1,61536E-08
1293	Releases to water	Suspended solids, unspecified	kg	2,4975E-258
1294	Releases to water	t-Butyl methyl ether	g	0,439570167
1295	Releases to water	Thorium-228	Bq	6,22488E-07
1296	Releases to water	Titanium, ion	mg	-0,351644547
1297	Releases to water	TOC, Total Organic Carbon	kg	0,013607433
1298	Releases to water	Toluene	g	2,4975E-258
1299	Releases to water	Tributyltin compounds	g	0,023153506
1300	Releases to water	Triethylene glycol	g	0,000144812
1301	Releases to water	Uranium-238	Bq	-0,018375991
1302	Releases to water	Vanadium, ion	mg	0,000948863
1303	Releases to water	VOC, volatile organic compounds, unspecified origin	g	2,4975E-258
1304	Releases to water	Xylene	g	4,088496223
1305	Releases to water	Zinc, ion	g	0,011382009
1306	Releases to water	1-Butanol	mg	-2,836222118
1307	Releases to water	1,4-Butanediol	µg	0,212381525
1308	Releases to water	Acenaphthene	mg	2,4975E-258
1309	Releases to water	Acenaphthylene	µg	0,052186727
1310	Releases to water	Acetaldehyde	mg	2,58562E-05
1311	Releases to water	Acetic acid	mg	-0,041373285
1312	Releases to water	Acidity, unspecified	mg	0,002195423
1313	Releases to water	Acrylate, ion	mg	2,4975E-258
1314	Releases to water	Aluminum	g	0,151447943
1315	Releases to water	Ammonium, ion	kg	5,51653E-05

1316	Releases to water	Antimony	g	-0,110009742
1317	Releases to water	Antimony-122	Bq	0,007498612
1318	Releases to water	Antimony-124	Bq	2,4975E-258
1319	Releases to water	Antimony-125	Bq	0,009669242
1320	Releases to water	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	g	1,24493E-06
1321	Releases to water	Arsenic, ion	g	-0,007708305
1322	Releases to water	Barium	g	0,000324982
1323	Releases to water	Barium-140	Bq	2,4975E-258
1324	Releases to water	Benzene	g	1866,319329
1325	Releases to water	Benzene, 1,4-dichloro-	mg	0,016165568
1326	Releases to water	Benzene, chloro-	mg	-1482,758483
1327	Releases to water	Benzene, ethyl-	g	66,78766019
1328	Releases to water	Beryllium	mg	2,4975E-258
1329	Releases to water	BOD5, Biological Oxygen Demand	kg	142,7723652
1330	Releases to water	Boron	g	0,048524121
1331	Releases to water	Bromate	g	82124,93626
1332	Releases to water	Bromine	g	77,13764392
1333	Releases to water	Butene	mg	2,4975E-258
1334	Releases to water	Butyl acetate	mg	5,242666439
1335	Releases to water	Butyrolactone	µg	0,002752693
1336	Releases to water	Cadmium, ion	mg	-4,16434301
1337	Releases to water	Calcium, ion	kg	0,18952062
1338	Releases to water	Carbonate	g	2,4975E-258
1339	Releases to water	Carboxylic acids, unspecified	kg	37599,59489
1340	Releases to water	Cerium-141	Bq	21,05944145
1341	Releases to water	Cerium-144	Bq	-29613,03592
1342	Releases to water	Cesium	mg	1820,08371
1343	Releases to water	Cesium-134	Bq	2,4975E-258
1344	Releases to water	Cesium-136	mBq	0,007732041
1345	Releases to water	Cesium-137	Bq	
1346	Releases to water	Chlorate	g	-0,006185632
1347	Releases to water	Chloride	kg	0,000239135
1348	Releases to water	Chlorinated solvents, unspecified	mg	2,4975E-258
1349	Releases to water	Chlorine	g	0,03092119
1350	Releases to water	Chloroform	µg	7,44512E-06
1351	Releases to water	Chromium-51	Bq	-0,024313853
1352	Releases to water	Chromium VI	g	0,001408172

1353	Releases to water	Chromium, ion	g	2,4975E-258
1354	Releases to water	Cobalt	mg	0,114399447
1355	Releases to water	Cobalt-57	Bq	1,91219E-05
1356	Releases to water	Cobalt-58	Bq	-0,090028797
1357	Releases to water	Cobalt-60	Bq	0,004925897
1358	Releases to water	COD, Chemical Oxygen Demand	kg	2,4975E-258
1359	Releases to water	Copper, ion	g	0,002854263
1360	Releases to water	Cumene	g	6,87242E-07
1361	Releases to water	Cyanide	g	-0,002244355
1362	Releases to water	Dichromate	mg	0,000129985
1363	Releases to water	DOC, Dissolved Organic Carbon	kg	2,4975E-258
1364	Releases to water	Ethane, 1,2-dichloro-	mg	0,010559948
1365	Releases to water	Ethanol	mg	1,7651E-06
1366	Releases to water	Ethene	g	-0,00831035
1367	Releases to water	Ethene, chloro-	mg	0,000454698
1368	Releases to water	Ethyl acetate	µg	2,4975E-258
1369	Releases to water	Ethylene diamine	µg	0,035919828
1370	Releases to water	Ethylene oxide	mg	
1371	Releases to water	Fluoride	g	-0,028735862
1372	Releases to water	Fluosilicic acid	g	0,001110923
1373	Releases to water	Formaldehyde	mg	2,4975E-258
1374	Releases to water	Heat, waste	MJ	0,131671159
1375	Releases to water	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	g	3,24486E-05
1376	Releases to water	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	g	-0,103544388
1377	Releases to water	Hydrocarbons, aromatic	g	0,005989213
1378	Releases to water	Hydrocarbons, unspecified	g	2,4975E-258
1379	Releases to water	Hydrogen-3, Tritium	kBq	0,464035178
1380	Releases to water	Hydrogen peroxide	mg	7,74325E-05
1381	Releases to water	Hydrogen sulfide	g	-0,365184182
1382	Releases to water	Hydroxide	mg	0,019974151
1383	Releases to water	Hypochlorite	g	2,4975E-258
1384	Releases to water	Iodide	g	0,004084683
1385	Releases to water	Iodine-131	Bq	1,00489E-06
1386	Releases to water	Iodine-133	Bq	-0,003214467
1387	Releases to water	Iron-59	Bq	0,000172153
1388	Releases to water	Iron, ion	g	2,4975E-258
1389	Releases to water	Lanthanum-140	Bq	0,059648353

1390	Releases to water	Lead	g	2,3918E-05
1391	Releases to water	Lead-210	Bq	-0,047031146
1392	Releases to water	Magnesium	kg	0,002616406
1393	Releases to water	Manganese	g	2,4975E-258
1394	Releases to water	Manganese-54	Bq	0,007097749
1395	Releases to water	Mercury	mg	7,1956E-06
1396	Releases to water	Methane, dichloro-, HCC-30	g	-0,005533175
1397	Releases to water	Methanol	mg	0,000327791
1398	Releases to water	Methyl acrylate	mg	2,4975E-258
1399	Releases to water	Methyl amine	µg	0,000102035
1400	Releases to water	Methyl formate	µg	5,14126E-08
1401	Releases to water	Molybdenum	g	-7,60452E-05
1402	Releases to water	Molybdenum-99	Bq	8,00419E-06
1403	Releases to water	Nickel, ion	g	2,4975E-258
1404	Releases to water	Niobium-95	Bq	0,000807633
1405	Releases to water	Nitrate	kg	
1406	Releases to water	Nitrite	g	-0,000646106
1407	Releases to water	Nitrogen	g	2,49783E-05
1408	Releases to water	Nitrogen, organic bound	g	2,4975E-258
1409	Releases to water	Oils, unspecified	kg	0,01258464
1410	Releases to water	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	g	1,41615E-05
1411	Releases to water	Phenol	g	0,545533793
1412	Releases to water	Phosphate	g	0,000524206
1413	Releases to water	Phosphorus	g	2,4975E-258
1414	Releases to water	Polonium-210	Bq	0,001948307
1415	Releases to water	Potassium-40	Bq	5,18418E-05
1416	Releases to water	Potassium, ion	kg	-0,001533149
1417	Releases to water	Propene	g	8,63893E-05
1418	Releases to water	Propylene oxide	g	2,4975E-258
1419	Releases to water	Protactinium-234	Bq	182387779,1
1420	Releases to water	Radioactive species, alpha emitters	Bq	
1421	Releases to water	Radioactive species, Nuclides, unspecified	Bq	-145910223,3
1422	Releases to water	Radium-224	Bq	5640859,148
1423	Releases to water	Radium-226	Bq	2,4975E-258
1424	Releases to water	Radium-228	Bq	248212718,3
1425	Releases to water	Rubidium	g	152120,5529
1426	Releases to water	Ruthenium-103	mBq	-197219739,4

1427	Releases to water	Scandium	mg	8575273,671
1428	Releases to water	Selenium	g	2,4975E-258
1429	Releases to water	Silicon	kg	28097495,41
1430	Releases to water	Silver-110	Bq	16743,79757
1431	Releases to water	Silver, ion	mg	-22326752,54
1432	Releases to water	Sodium-24	Bq	976501,3473
1433	Releases to water	Sodium formate	mg	2,4975E-258
1434	Releases to water	Sodium, ion	kg	0,000239208
1435	Releases to water	Solids, inorganic	g	9,2053E-08
1436	Releases to water	Solved solids	kg	-0,000173325
1437	Releases to water	Strontium	kg	2,31654E-05
1438	Releases to water	Strontium-89	Bq	2,4975E-258
1439	Releases to water	Strontium-90	Bq	0,019488303
1440	Releases to water	Sulfate	kg	
1441	Releases to water	Sulfide	g	-0,015590643
1442	Releases to water	Sulfite	g	0,000602731
1443	Releases to water	Sulfur	g	2,4975E-258
1444	Releases to water	Suspended solids, unspecified	kg	0,005752667
1445	Releases to water	t-Butyl methyl ether	µg	4,24175E-06
1446	Releases to water	Technetium-99m	Bq	-0,004587598
1447	Releases to water	Tellurium-123m	Bq	0,00019009
1448	Releases to water	Tellurium-132	mBq	2,4975E-258
1449	Releases to water	Thallium	mg	0,005551121
1450	Releases to water	Thorium-228	Bq	4,07038E-06
1451	Releases to water	Thorium-230	Bq	-0,004424808
1452	Releases to water	Thorium-232	Bq	0,000184056
1453	Releases to water	Thorium-234	Bq	2,4975E-258
1454	Releases to water	Tin, ion	mg	0,005914062
1455	Releases to water	Titanium, ion	g	
1456	Releases to water	TOC, Total Organic Carbon	kg	-0,004731249
1457	Releases to water	Toluene	g	0,000182909
1458	Releases to water	Tungsten	mg	2,4975E-258
1459	Releases to water	Uranium-234	Bq	0,000589751
1460	Releases to water	Uranium-235	Bq	4,47687E-07
1461	Releases to water	Uranium-238	Bq	-0,0004701
1462	Releases to water	Uranium alpha	Bq	1,95545E-05
1463	Releases to water	Vanadium, ion	g	2,4975E-258

1464	Releases to water	VOC, volatile organic compounds, unspecified origin	g	1,00331E-08
1465	Releases to water	Xylene	g	6,66441E-12
1466	Releases to water	Zinc-65	Bq	2,78493E-05
1467	Releases to water	Zinc, ion	g	3,59521E-10
1468	Releases to water	Zirconium-95	Bq	2,4975E-258
1469	Releases to water	Chloride	mg	0,023785527
1470	Releases to soil	Aluminum	g	5,72701E-06
1471	Releases to soil	Boron	g	-0,018702961
1472	Releases to soil	Cadmium	mg	0,001083209
1473	Releases to soil	Chloride	kg	2,4975E-258
1474	Releases to soil	Chromium	mg	0,088548346
1475	Releases to soil	Chromium VI	g	1,63212E-05
1476	Releases to soil	Copper	g	-0,069629475
1477	Releases to soil	Fluoride	g	0,003807864
1478	Releases to soil	Heat, waste	MJ	2,4975E-258
1479	Releases to soil	Iron	kg	11,79809215
1480	Releases to soil	Lead	mg	
1481	Releases to soil	Nickel	mg	-9,438473722
1482	Releases to soil	Nitrogen	mg	0,364889448
1483	Releases to soil	Oils, biogenic	g	2,4975E-258
1484	Releases to soil	Oils, unspecified	g	60,28166247
1485	Releases to soil	Sodium	g	0,027433598
1486	Releases to soil	Zinc	g	-47,8531145
1487	Releases to soil	2,4-D	g	2,202850214
1488	Releases to soil	Aclonifen	mg	2,4975E-258
1489	Releases to soil	Aldrin	g	2,885169808
1490	Releases to soil	Aluminum	g	
1491	Releases to soil	Antimony	µg	-2,308135846
1492	Releases to soil	Arsenic	g	0,089232056
1493	Releases to soil	Atrazine	g	2,4975E-258
1494	Releases to soil	Barium	mg	7,848247964
1495	Releases to soil	Benomyl	µg	0,002558052
1496	Releases to soil	Bentazone	mg	-6,221956837
1497	Releases to soil	Boron	mg	0,3003662
1498	Releases to soil	Cadmium	mg	2,4975E-258
1499	Releases to soil	Calcium	g	0,726240877

1500	Releases to soil	Carbetamide	mg	0,000189601
1501	Releases to soil	Carbofuran	mg	-0,579155339
1502	Releases to soil	Carbon	g	0,024101557
1503	Releases to soil	Chloride	g	2,4975E-258
1504	Releases to soil	Chlorothalonil	mg	10,4876765
1505	Releases to soil	Chromium	mg	0,008122114
1506	Releases to soil	Cobalt	mg	-8,360082692
1507	Releases to soil	Copper	mg	0,348017603
1508	Releases to soil	Cypermethrin	mg	2,4975E-258
1509	Releases to soil	Fenpiclonil	mg	31,59404605
1510	Releases to soil	Glyphosate	g	0,115699645
1511	Releases to soil	Iron	g	-9,320508252
1512	Releases to soil	Lead	mg	1,251936994
1513	Releases to soil	Linuron	g	2,4975E-258
1514	Releases to soil	Magnesium	g	0,012764226
1515	Releases to soil	Mancozeb	mg	3,09102E-06
1516	Releases to soil	Manganese	g	-0,010036852
1517	Releases to soil	Mercury	µg	0,00058106
1518	Releases to soil	Metaldehyde	µg	2,4975E-258
1519	Releases to soil	Metolachlor	g	0,19719018
1520	Releases to soil	Metribuzin	mg	0,000166725
1521	Releases to soil	Molybdenum	mg	-0,038898043
1522	Releases to soil	Napropamide	mg	0,007677557
1523	Releases to soil	Nickel	mg	2,4975E-258
1524	Releases to soil	Orbencarb	mg	0,01115456
1525	Releases to soil	Phosphorus	g	
1526	Releases to soil	Pirimicarb	mg	-0,008923648
1527	Releases to soil	Potassium	g	0,000344986
1528	Releases to soil	Silicon	g	2,4975E-258
1529	Releases to soil	Strontium	mg	2,15765118
1530	Releases to soil	Sulfur	g	0,000703263
1531	Releases to soil	Sulfuric acid	µg	-1,710548975
1532	Releases to soil	Tebutam	mg	0,082577091
1533	Releases to soil	Teflubenzuron	mg	2,4975E-258
1534	Releases to soil	Thiram	µg	0,130851568
1535	Releases to soil	Tin	mg	
1536	Releases to soil	Titanium	g	-0,104681254

1537	Releases to soil	Vanadium	mg	0,004046956
1538	Releases to soil	Zinc	g	2,4975E-258
1539	Releases to soil	Oils, biogenic	g	13,31527342
1540	Releases to soil	Oils, unspecified	kg	0,00433997
1541	Releases to soil	Aluminum	g	-10,55612117
1542	Releases to soil	Arsenic	mg	0,509598842
1543	Releases to soil	Barium	g	2,4975E-258
1544	Releases to soil	Boron	g	1,497923071
1545	Releases to soil	Cadmium	mg	9,11235E-06
1546	Releases to soil	Calcium	kg	-1,198273624
1547	Releases to soil	Carbon	kg	0,046383917
1548	Releases to soil	Chloride	kg	2,4975E-258
1549	Releases to soil	Chromium	g	3,6517E-05
1550	Releases to soil	Cobalt	mg	1,84681E-07
1551	Releases to soil	Copper	mg	-2,88361E-05
1552	Releases to soil	Fluoride	g	1,92292E-06
1553	Releases to soil	Glyphosate	g	2,4975E-258
1554	Releases to soil	Heat, waste	MJ	0,459208279
1555	Releases to soil	Iron	kg	0,00015273
1556	Releases to soil	Lead	mg	3,352524577
1557	Releases to soil	Magnesium	g	0,015050825
1558	Releases to soil	Manganese	g	2,4975E-258
1559	Releases to soil	Mercury	µg	3,59183E-10
1560	Releases to soil	Nickel	mg	1,32832E-13
1561	Releases to soil	Oils, unspecified	g	-2,5916E-10
1562	Releases to soil	Phosphorus	g	3,57613E-11
1563	Releases to soil	Potassium	g	2,4975E-258
1564	Releases to soil	Silicon	g	0,001892559
1565	Releases to soil	Sodium	g	5,05479E-07
1566	Releases to soil	Strontium	g	-0,001489864
1567	Releases to soil	Sulfur	g	8,4665E-05
1568	Releases to soil	Zinc	g	2,4975E-258