

KELLY ALONSO COSTA

**A UTILIZAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NO PROCESSO DE
TOMADA DE DECISÃO EM SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA DA
CONSTRUÇÃO NO SUBSETOR DE EDIFICAÇÕES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, área de concentração: Tecnologia da Construção.

Orientador: Prof. Assed Naked Haddad, D.Sc.

Co-orientadora: Profa. Laia Haurie Ibarra, Dra.

Niterói, RJ

2012

KELLY ALONSO COSTA

**A UTILIZAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NO PROCESSO DE
TOMADA DE DECISÃO EM SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA DA
CONSTRUÇÃO NO SUBSETOR DE EDIFICAÇÕES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, área de concentração: Tecnologia da construção.

Aprovada por:

Prof. Assed Naked Haddad, D.Sc. (orientador)
Universidade Federal Fluminense

Profa. Laia Haurie Ibarra, Dra. (co-orientadora)
Universitat Politècnica de Catalunya

Prof. Carlos Alberto Pereira Soares, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense

Profa. Ana Ines Fernandez Renna, Dra.
Universitat de Barcelona

Profa. Ana María Lacasta Palacio, Dra.
Universitat Politècnica de Catalunya

Prof. Gustavo Saad Terra, D.Sc.
Instituto Federal Fluminense

Prof. Jorge dos Santos, D.Sc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Niterói, RJ
2012

"Entrega o teu caminho ao SENHOR
confia NELE,
e o mais ELE fará."
(Salmo 37 verso 5)

AGRADECIMENTOS

Ao terminar este trabalho gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a sua realização. Gostaria de agradecer, em especial:

A Deus, pela minha vida e pela imensa benção em proporcionar o aperfeiçoamento profissional em uma instituição de grande avanço científico e tecnológico.

Aos meus pais, Maria das Graças e Hugo, pelo carinho sempre dispensado durante toda a minha vida, pelos princípios que me formaram e pela educação que me proporcionaram, me dando a oportunidade de batalhar pelos meus sonhos e convicções.

Ao meu irmão, Victor Hugo, pela amizade e respeito nas horas de ansiedade e dúvidas.

Ao grande amigo e mentor profissional Professor e Orientador Doutor Assed Naked Haddad, sempre presente nos momentos difíceis e companheiro nas vitórias obtidas. Meu agradecimento especial pelas escolhas e indicações dos caminhos a seguir.

A Professora e Co-orientadora Doutora Laia Haurie Ibarra, pelo acolhimento e apoio nas pesquisas realizadas na Espanha e pelo suporte na finalização da tese.

Ao meu grande amor e amigo, Hélio, pelo companheirismo, pelas horas de auxílio, paciência e apoio.

Aos professores da Universidade Federal Fluminense que de alguma forma colaboraram para a minha formação e constituição da ética profissional.

Aos professores, técnicos e funcionários da Universitat Politècnica de Catalunya, UPC, em Barcelona.

Ao meu grande amigo e companheiro de pesquisa, professor Jorge Morais, pelo companheirismo no doutorado e na viagem a Espanha.

Meu sincero agradecimento ao amigo Erick Galante pela paciência e brilhante ajuda na estruturação da tese.

À grande amiga e prima Leila Mello Gomes pelo seu impressionante exemplo de superação, o qual me inspirou a atingir a conclusão desse trabalho.

Ao Coordenador do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal Fluminense em Engenharia Civil, Professor Doutor Orlando Longo, sempre disponível para apoiar.

Ao vice Coordenador Professor Doutor Carlos Alberto Pereira Soares pela presença, amizade e competência nas sugestões.

Às funcionárias da Pós-Graduação, à Clarice, à Sueli, à Ieda e ao Leonardo, que sempre foram solícitos, tiveram muita paciência em resolver os problemas burocráticos e psicológicos, e pela imensa amizade nos diversos momentos.

Aos professores da banca examinadora pela compreensão e pela colaboração para a finalização dessa tese.

Ao arquiteto Fernando José Pires Condeixa que cedeu o projeto arquitetônico e os quantitativos para o estudo.

Aos colegas da pós-graduação, em especial a Karina pelo apoio e pelos dados do projeto.

Ao Gestore, na UFRJ, pelo espaço e infraestrutura cedidos.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| AGRADECIMENTOS | 4 |
| SUMÁRIO | 6 |
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES | 8 |
| LISTA DE TABELAS | 10 |
| RESUMO | 11 |
| ABSTRACT | 12 |
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 APRESENTAÇÃO | 14 |
| 1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA | 16 |
| 1.2.1 Objetivo geral | 16 |
| 1.2.2 Objetivos específicos..... | 17 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO..... | 17 |
| 1.4 Metodologia..... | 19 |
| 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO..... | 21 |
| 2 GESTÃO DA SUSTENTABILIDADE | 23 |
| 2.1 SUSTENTABILIDADE | 23 |
| 2.2 GESTÃO DA SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO | 38 |
| 2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA | 46 |
| 2.3.1 ACV e as normas ISO | 51 |
| 2.3.2 ACV no Brasil..... | 53 |
| 2.3.3 A metodologia de ACV | 56 |
| 2.3.3.1 Definição de objetivo e escopo..... | 58 |
| 2.3.3.2 Análise de inventário do ciclo de vida..... | 60 |
| 2.3.3.3 Avaliação de impactos do ciclo de vida | 62 |
| 2.3.3.4 Interpretação | 71 |
| 2.4 GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS | 72 |
| 3 CONSIDERAÇÕES SOBRE CICLO DE VIDA DE EDIFICAÇÕES E SUAS FERRAMENTAS | 87 |
| 3.1 AS FASES DO CICLO DE VIDA DAS EDIFICAÇÕES..... | 103 |
| 3.2 CICLO DE VIDA DE UMA EDIFICAÇÃO | 105 |
| 3.2.1 Fase de produção de insumos | 107 |
| 3.2.2 Fase de planejamento e projeto..... | 108 |
| 3.2.3 Fase de construção..... | 110 |
| 3.2.4 Fase de uso, operação e manutenção..... | 111 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 3.2.5 | Fase de fim de vida, demolição e desmantelamento | 112 |
| 3.3 | Inter-relação das fases da ACV NAS edificações | 118 |
| 3.4 | BANCOS DE DADOS E FERRAMENTAS PARA A ACV | 119 |
| 3.4.1 | Análise de Sensibilidade | 126 |
| 4 | APLICAÇÃO E MODELAGEM TEÓRICA DA ACV EM EDIFICAÇÕES..... | 128 |
| 4.1 | PRESSUPOSTOS E HIPÓTESES DO ESTUDO..... | 130 |
| 4.2 | FERRAMENTAS UTILIZADAS..... | 131 |
| 4.3 | ESTRUTURA OPERACIONAL DO MODELO..... | 132 |
| 4.3.1 | Definição de objetivo e escopo | 132 |
| 4.3.1.1 | Definição das fronteiras do sistema..... | 137 |
| 4.3.2 | Análise do inventário..... | 139 |
| 4.3.3 | Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida | 142 |
| 4.3.4 | Interpretação (Análise dos resultados)..... | 143 |
| 4.3.5 | Análise do modelo..... | 143 |
| 4.3.6 | Modelo e critérios do ciclo de vida da edificação | 143 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 153 |
| 5.1 | PROCESSOS DA FASE 1: CONSTRUÇÃO..... | 154 |
| 5.1.1 | Processo 1 – Instalação do canteiro | 154 |
| 5.1.2 | Processo 2 – Movimentação de terra..... | 157 |
| 5.1.3 | Processo 3 – Fundações..... | 158 |
| 5.1.4 | Processo 4 – Estrutura..... | 160 |
| 5.1.5 | Processo 5 – Vedação/Alvenaria | 162 |
| 5.1.6 | Processo 6 – Instalações..... | 163 |
| 5.1.7 | Processo 7 – Cobertura..... | 165 |
| 5.1.8 | Processo 8 – Revestimento..... | 166 |
| 5.1.9 | Processo 9 – Acabamento | 168 |
| 5.1.10 | Processo 10 – Louças e metais | 170 |
| 5.1.11 | Processo 11 – Vidros | 171 |
| 5.1.12 | Processo 12 – Transporte de materiais..... | 172 |
| 5.2 | PROCESSOS DA FASE 2: USO E OPERAÇÃO..... | 173 |
| 5.2.1 | Processo 1 – Pintura | 173 |
| 5.2.2 | Processo 2 – Recuperação da cobertura | 174 |
| 5.2.3 | Processo 3 – Manutenção das instalações | 176 |
| 5.3 | PROCESSOS DA FASE 3: FIM DE VIDA – DEMOLIÇÃO – DESMANTELAMENTO..... | 177 |
| 5.3.1 | Processo 1 – Seleção primária de materiais | 178 |
| 5.3.2 | Processo 2 – Demolição..... | 179 |
| 5.3.3 | Processo 3 – Seleção secundária de materiais..... | 181 |
| 5.3.4 | Processo 4 – Transporte de resíduos | 183 |
| 5.3.5 | Processo 5 – Reciclagem / disposição final | 184 |
| 5.4 | AVALIAÇÃO DO MÉTODO E DOS PROCESSOS | 187 |
| 5.5 | ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS DO MODELO | 189 |
| 5.6 | O MODELO E OS APLICATIVOS..... | 191 |
| 6 | CONCLUSÕES..... | 193 |
| | REFERÊNCIAS..... | 196 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|-----|
| Figura 1 – Concentrações médias globais dos gases do efeito estufa..... | 25 |
| Figura 2 - Origens, características e expansão do movimento ambientalista. | 28 |
| Figura 3 – Sustentabilidade: o Tripé (<i>triple bottom line</i>). | 34 |
| Figura 4 – Evolução da demanda e projeções dos agregados no Brasil..... | 41 |
| Figura 5 – Gestão de Resíduos, conforme a resolução CONAMA n° 307/02. | 42 |
| Figura 6 – BedZed, Inglaterra..... | 45 |
| Figura 7 – Ciclo de vida de um material. | 47 |
| Figura 8 – Ciclo de vida de um produto ou serviço. | 49 |
| Figura 9 – Ciclo de vida de um produto..... | 50 |
| Figura 10 - Fases da ACV..... | 57 |
| Figura 11 – Modelo para captação de entradas e saídas. | 59 |
| Figura 12 – Procedimentos simplificados para a etapa de análise do inventário (adaptação da ISO 14044). | 61 |
| Figura 13 – Cadeia de impactos causada pela emissão de certa substância. | 64 |
| Figura 14 – Relações das emissões com os efeitos nos seres humanos. | 66 |
| Figura 15 – Modelo de uma Avaliação do ciclo de vida. | 69 |
| Figura 16 – Gestão da Cadeia de suprimentos: integração e gestão dos processos. | 73 |
| Figura 17 – Fluxos da cadeia de valor. | 76 |
| Figura 18 – Gestão sustentável da cadeia de suprimentos..... | 78 |
| Figura 19 – Representação esquemática da cadeia produtiva da indústria da construção civil..... | 80 |
| Figura 20 – Perfil da cadeia construtiva e da indústria de materiais (Novembro 2011). | 81 |
| Figura 21 – Ilustração da cadeia construtiva para o sub-segmento residencial formal – casas..... | 82 |
| Figura 22 - Ilustração da cadeia construtiva para o sub-segmento residencial formal – Edifícios e condomínios horizontais. | 82 |
| Figura 23 – Cadeia produtiva na construção civil..... | 84 |
| Figura 24 – Ciclo de vida de um empreendimento. | 89 |
| Figura 25 – Influência média de decisões em etapas do empreendimento no impacto ambiental..... | 91 |
| Figura 26 – Relação entre vida útil e desempenho numa edificação. | 94 |
| Figura 27 – Ciclo de vida de uma edificação habitacional e a energia incorporada. | 100 |
| Figura 28 – Impactos ambientais nos edifícios no ciclo de vida..... | 102 |
| Figura 29 – Ciclo de vida de uma edificação com as entradas e saídas. | 103 |
| Figura 30 – Fronteiras do sistema de ciclo de vida. | 104 |

| | |
|---|-----|
| Figura 31 – Fases do ciclo de vida de edificações..... | 106 |
| Figura 32 – Configuração típica de uma ferramenta de ACV para edificação..... | 120 |
| Figura 33 – Representação de banco de dados..... | 125 |
| Figura 34 – Plantas baixas do primeiro e segundo pavimentos, sem escala. | 134 |
| Figura 35 – Plantas de fachada, sem escala..... | 135 |
| Figura 36 – Plantas de corte, sem escala. | 135 |
| Figura 37 – Plantas de situação, sem escala..... | 136 |
| Figura 38 – Fronteira do sistema..... | 138 |
| Figura 39 – Formulários para levantamentos..... | 139 |
| Figura 40 – Modelo (nível macro)..... | 147 |
| Figura 41 – Modelo (nível micro) – Fase 1..... | 148 |
| Figura 42 – Modelo (nível micro) – Fase 2..... | 150 |
| Figura 43 – Modelo (nível micro) – Fase 3..... | 152 |
| Figura 44 – Processo 1: Instalação do canteiro – Fase 1. | 155 |
| Figura 45 – Processo 2: Movimentação de terra – Fase 1..... | 157 |
| Figura 46 – Processo 3: Fundações – Fase 1..... | 159 |
| Figura 47 – Processo 4: Estrutura – Fase 1..... | 160 |
| Figura 48 – Processo 5: Vedação / Alvenaria – Fase 1. | 162 |
| Figura 49 – Processo 6: Instalações – Fase 1. | 164 |
| Figura 50 – Processo 7: Cobertura – Fase 1..... | 165 |
| Figura 51 – Processo 8: Revestimento – Fase 1..... | 167 |
| Figura 52 – Processo 9: Acabamento – Fase 1. | 168 |
| Figura 53 – Processo 10: Louças e metais – Fase 1. | 170 |
| Figura 54 – Processo 11: Vidros – Fase 1. | 171 |
| Figura 55 – Processo 12: Transporte de materiais – Fase 1..... | 172 |
| Figura 56 – Processo 1: Pintura – Fase 2..... | 173 |
| Figura 57 – Processo 2: Recuperação da cobertura – Fase 2..... | 175 |
| Figura 58 – Processo 3: Manutenção das instalações – Fase 2..... | 176 |
| Figura 59 – Processo 1: Seleção primária de materiais – Fase 3..... | 178 |
| Figura 60 – Processo 2: Demolição – Fase 3..... | 180 |
| Figura 61 – Processo 3: Seleção secundária – Fase 3..... | 182 |
| Figura 62 – Processo 4: Transporte de resíduos – Fase 3. | 184 |
| Figura 63 – Processo 5: Reciclagem / disposição final – Fase 3. | 185 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Dissertações, teses e artigos sobre ACV publicados no Brasil..... | 57 |
| Tabela 2 - Categorias de impacto ambiental quanto ao método..... | 65 |
| Tabela 3 - Diferentes tipos de Eco-indicadores e suas considerações..... | 68 |
| Tabela 4 - Processos de construção civil e respectivos tempos de vida útil..... | 93 |
| Tabela 5 - Categorias de vida útil de projeto segundo a BS 7543/2003..... | 95 |
| Tabela 6 - As partes que integram a norma NBR 15.575/2008..... | 96 |
| Tabela 7 - Especificações da norma NBR 15.575/2008..... | 97 |
| Tabela 8 - Fases do ciclo de vida de um edifício sugerido na CEN / TC 350..... | 105 |
| Tabela 9 - Classificação dos resíduos de construção demolição..... | 115 |
| Tabela 10 - Ferramentas para Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)..... | 123 |
| Tabela 11 - Matriz relacional para aspectos da sustentabilidade..... | 131 |
| Tabela 12 – Quadro de áreas..... | 137 |
| Tabela 13 - Consumo dos equipamentos elétricos usuais em edificações..... | 140 |
| Tabela 14 - Características construtivas da edificação..... | 141 |
| Tabela 15 - Matriz correlacional preenchida..... | 143 |
| Tabela 16 – Tabela com materiais..... | 145 |

RESUMO

Esta tese tem como objetivo criar um método de auxílio à Avaliação do Ciclo de Vida de edificações. O problema central é que os dados originados do setor de edificações, de forma geral, são aproximados e complexos. Para modelar uma ACV, esses dados devem ser compilados e padronizados para a produção de resultados com alto grau de confiabilidade, considerando a tomada de decisão na complexa cadeia de suprimentos da indústria da construção. A metodologia utilizada consiste em modelar os processos das diferentes fases de uma edificação e identificar os impactos e suas classificações através da ACV. O estudo do ciclo de vida de um empreendimento, fundamentado na sustentabilidade, tem cunho multidisciplinar, pois o conhecimento e a técnica estão intrínsecos à pesquisa e à evolução da sociedade em momentos decisivos, como nos dias atuais, para manutenção das futuras gerações. A partir dessa perspectiva, a importância singular do setor da construção, composta por toda a sua cadeia produtiva, pode ser medida em fatores estratégicos como investimentos, criação de empregos e resultados na balança comercial de muitos países. O avanço dos investimentos no subsetor de edificações no Brasil tem estimulado estudos de metodologias viáveis à implantação de parâmetros de sustentabilidade. Os resultados desse estudo visam contribuir com essas iniciativas fornecendo informações qualitativas dos impactos e suas classificações na busca por soluções no consumo dos recursos naturais e da energia. O trabalho desenvolve ainda suporte para a tomada de decisão ao longo das fases de edificações. O modelo utiliza critérios sustentáveis e descreve uma metodologia fundamentada na Avaliação do Ciclo de Vida de uma edificação para suporte na sua aplicação no Brasil.

ABSTRACT

This thesis aims to create a method to aid Life Cycle Assessment of buildings. The central problem is that the data originated from the construction sector, in general, are approximate and complex. To model an LCA, these data should be compiled and standardized to produce results with a high degree of reliability, considering the decision making in the complex supply chain of the construction industry. The methodology consists in modeling the processes of the different phases of a building and identify the impacts and their classifications by LCA. The study of the life cycle of a project, based on sustainability, has a multidisciplinary nature, because knowledge and skills are intrinsic to the research and development of society in decisive moments, like today, for maintenance of future generations. From this perspective, the singular importance of the construction sector, comprising its entire supply chain, can be measured in factors such as strategic investments, create jobs and results in the trade balance of many countries. The increase of investments in the subsector of buildings in Brazil has stimulated studies of viable methodologies to implement sustainability parameters. The results of this study aim to contribute to these efforts by providing qualitative information of impacts and their rankings in the search for solutions in the consumption of natural resources and energy. The paper develops further support for decision-making throughout the phases of buildings. The model uses sustainable criteria and describes a methodology based on Life Cycle Assessment of a building to support its application in Brazil.

1 INTRODUÇÃO

As discussões na sociedade atual voltam-se para os impactos causados por um modelo de desenvolvimento não sustentável, baseado no consumo indiscriminado dos recursos naturais e na degradação do meio-ambiente. As mudanças ambientais e o possível esgotamento das reservas naturais justificam os debates e os esforços a fim de encontrar soluções sustentáveis pelas óticas ambiental, social e econômica. A avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma das ferramentas da sustentabilidade utilizada para tomada de decisão na estratégia ambiental.

A ACV é uma técnica para avaliar os aspectos ambientais e os impactos potenciais associados a um produto. A sua aplicação é fundamentada no estudo das fases do ciclo de vida que se inicia com a extração das matérias-primas na natureza (berço), passando pelo sistema produtivo, até a disposição do produto final (túmulo).

O objetivo dessa tese é contribuir com um estudo técnico para a composição de uma metodologia da avaliação do ciclo de vida na indústria da construção, com foco em edificações. A Universidade Federal Fluminense tem propagado, através da Pós-graduação em Engenharia Civil, na linha de Gestão em Construção, um papel determinante no conhecimento e nas práticas do desenvolvimento sustentável no setor de construção. O estudo do ciclo de vida de um empreendimento, fundamentado na sustentabilidade, tem cunho multidisciplinar, pois o avanço do desenvolvimento com técnicas sustentáveis está intrínseco à pesquisa e a evolução da sociedade em momentos decisivos como nos dias atuais.

1.1 APRESENTAÇÃO

Depois de quase duas décadas da Agenda 21, em 1992 (CIB, 2002), os objetivos de desenvolvimento do milênio (ONU) foram definidos e devem ser cumpridos pelos 192 estados-membros formalizados das Nações Unidas, até o ano de 2015. A participação da sociedade, governos, pesquisadores, engenheiros, cientistas ambientais e outros atores envolvidos no setor da construção, que formam uma das maiores indústrias do mundo, são motivados para melhoria dos indicadores ambientais e sócio-econômicos da sustentabilidade visando às gerações futuras.

A importância singular do setor da construção, composta por toda a sua cadeia produtiva, pode ser avaliada em fatores decisivos como investimentos, criação de empregos e resultados na balança comercial de muitos países.

A indústria da construção produz grandes impactos sociais e econômicos representados por suas proporções contabilizadas mundialmente. O setor da construção representa 10 % do PIB mundial, com uma produção anual de 3,000 bilhões de dólares, dos quais 30% estão na Europa, 23% nos países em desenvolvimento, 22% nos Estados Unidos, 21% no Japão, e 4% no resto do mundo (RODRÍGUEZ, 2009).

No aspecto ambiental, considerando sua vida útil, o ambiente construído é responsável em cada país por 25% a 40% do uso total de energia, 30% a 40% de geração de resíduos sólidos e de 30% a 40% de emissões (CICA, 2002). Esse setor também consome 40% dos materiais, 20% da água e 35% de toda a energia consumida pela sociedade, sendo que 80% dessa energia são consumidos através do uso e operação dos edifícios (CBCS, 2009).

Nos dias atuais, a indústria da construção no Brasil tem alcançado altos índices de crescimento e lucro em pelo menos 25 anos. Esse setor registrou alta de 11% no ano de 2010, a maior desde 1986, época do Plano Cruzado, considerada "exuberante" pelo próprio setor (Agência Brasil, 2011). A maior parte dos investimentos em construção, nos últimos cinco anos, está direcionada ao subsetor de edificações, em especial, as habitações populares. Esse fato se deve a meta de diminuir o déficit habitacional no Brasil que se encontra na casa de 8 milhões, segundo as pesquisas dos últimos três anos.

Como resultado desse crescente desenvolvimento nos últimos anos, a maior procura por atividades do setor de construção tem trazido alguns desafios para o ramo, que tenta se adaptar às exigências do mercado atual e globalizado. No Brasil, atualmente, entre grandes questões, há a escassez de mão-de-obra especializada, fruto da falta de investimentos e planejamento, alinhado ao crescimento econômico, em qualificação de profissionais.

Outro desafio do setor da construção no país é a inadequação às exigências de sustentabilidade, que crescem não só no Brasil como no mundo. A indústria da construção é uma das grandes responsáveis pela exploração de recursos naturais, consumo de energia, emissão de gases e geradora de resíduos, fato já enfatizado pela Organização das Nações Unidas (ONU). Então, para que o setor alinhe seu sucesso de crescimento às responsabilidades junto à sociedade, faz-se necessário adequar o contexto de desenvolvimento sustentável às práticas do ramo.

Atualmente, há uma grande preocupação em acelerar os estudos de adequação a sustentabilidade devido ao calendário de obras de eventos mundiais em que o Brasil está inserido nos próximos cinco anos. Além de projetar mundialmente o país sobre sua posição a questões ambientais, acarretará um grande impacto econômico, que pode abrir caminhos para expansões na economia a longo prazo. Entretanto, essas obras precisam ser viáveis principalmente sob a perspectiva da sustentabilidade, para que o país consiga o reconhecimento mundial em objetivos políticos, econômicos, sociais e ambientais.

A indústria da construção é de grande porte e complexa, sendo necessários um mapeamento das suas atividades e levantamento das operações para uma análise completa. Esses estudos consomem tempo e recursos financeiros das empresas do setor, desmotivando os investimentos para uma avaliação dos impactos gerados. Entretanto, as pesquisas e as diretrizes mais recentes refletem a urgência da discussão sobre os temas relacionados ao meio-ambiente, numa mesa que envolva a sociedade, os governos e os empresários. Esse novo cenário é justificado pela preocupação das gerações futuras e também pelas legislações em vigor, exigindo maior responsabilidade nos impactos ambientais.

No Brasil há leis em vigor que institui normas e procedimentos específicos quanto à responsabilidade ambiental, porém muitas estão restritas aos estados e trazem conflitos entre si. Porém, no dia 2 de agosto de 2010, após quase 20 anos de tramitação no Congresso Nacional, foi instituída a Lei nº 12.305, chamada de Política Nacional de Resíduos Sólidos. Essa Lei tem como alguns dos seus princípios: a prevenção e a precaução; a visão sistêmica na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública; o desenvolvimento sustentável; o consumo indiscriminado e a reutilização de materiais. E a indústria da construção precisa se adequar pela grande geração de resíduos ao longo de sua cadeia produtiva e os respectivos impactos ambientais. Estima-se que a geração de resíduos da construção civil situa-se em torno de 450 kg/ habitante/ ano, variando naturalmente de cidade a cidade e com a oscilação da economia (fonte: Superintendência de Limpeza Urbana da Prefeitura de Belo Horizonte – 2005, apud BEIRIZ, 2010). São quantidades representativas de material a serem utilizadas e de preocupação ambiental com o seu destino.

A fim de superar a preocupação crescente de esgotamento de recursos, considerações ambientais e de abordar os indicadores de sustentabilidade, busca-se então uma metodologia de apoio à aplicação da avaliação do ciclo de vida em edificações para a tomada de decisão na integração ambiental e socioeconômica, para analisar o impacto da sustentabilidade no setor da construção.

Para realização desse estudo, fazem-se necessárias diversas abordagens técnicas e conceituais. Em particular, um levantamento e avaliação sobre ferramentas de análise com base no pensamento do ciclo de vida.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo principal de uma pesquisa é descobrir respostas para problemas, através do emprego de procedimentos científicos (GIL, 2007).

O objetivo principal desta tese é desenvolver uma metodologia fundamentada no ciclo de vida, incluindo a prática de aspectos ambientais e sócio-econômicos para dar suporte à tomada de decisão em sustentabilidade na indústria da construção, no subsetor de edificação e contribuir com a gestão da vida útil do empreendimento.

A pesquisa propõe introduzir o conceito de sustentabilidade para o campo da cadeia de suprimentos e do ciclo de vida de um empreendimento e avaliar as relações entre o desempenho ambiental, social e econômico dentro do contexto de gestão.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Promover o pensamento do Ciclo de Vida, analisando a sua capacidade e viabilidade para auxiliar a tomada de decisão e melhorar a sustentabilidade no subsetor de edificações;
- Criar uma metodologia que auxilie a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida em edificações para organização dos dados e posterior desdobramento de uma modelagem;
- Criar ferramentas e diretrizes para a aplicação dessa metodologia;
- Mapear os processos das fases do ciclo de vida de uma edificação;
- Identificar e classificar os resíduos e os impactos ambientais conforme a sua categoria (midpoint e endpoint);
- Realizar uma análise sobre a tomada de decisão, considerando indicadores de sustentabilidade na construção.

1.3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

As iniciativas baseadas em sustentabilidade deixaram de ser, ao longo dos anos, uma ação voluntarista, baseada em abordagens ecológicas inviáveis para se afirmar como um processo de integração do desenvolvimento e do meio-ambiente.

A sustentabilidade possui diversas linhas de investigação e propaga a preocupação com o consumo de recursos naturais e os impactos. No entanto, sua disseminação necessita de mecanismos viáveis para aplicações técnica e econômica.

A abrangência do tema dificulta o avanço dos estudos na adequação de metodologias para diversos setores. Contudo, as pesquisas fundamentadas em conhecimentos interdisciplinares têm somado esforços para encontrar ferramentas capazes de mensurar o consumo dos recursos e os impactos.

Entre as ferramentas disponíveis, encontra-se a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) que descreve todos os recursos naturais e processos transformadores utilizados, através das fases de vida de um produto. Os resultados dessa avaliação dão suporte à tomada de decisão na melhoria dos processos visando minimizar os impactos ambientais.

Mais recentemente, a *EU 6th Framework Co-ordination Action for Innovation in Life-Cycle Analysis for Sustainability*, visa identificar linhas de pesquisa sobre como aumentar a eficácia da sustentabilidade na tomada de decisão, indo além das deficiências e limitações da atual avaliação do ciclo de vida.

A busca de soluções para minimizar impactos ambientais é pertinente a indústria da construção, devido as atividades da exploração até a destinação dos resíduos que degradam a biodiversidade em grandes proporções. A indústria da construção contribui com aproximadamente 60% dos resíduos sólidos urbanos no mundo (PINTO, 2004).

A aplicação da ACV é complexa em cálculos, e exige dados quantitativos e qualitativos formatados e autênticos. A grande dificuldade é tornar acessível o uso das ferramentas, de acordo com o grau de complexidade da modelagem computacional usada pelos aplicativos atuais, e integrar os dados disponíveis sobre materiais e técnicas construtivas do Brasil.

A contribuição desta pesquisa para a Engenharia Civil está na criação de uma metodologia que auxilie a aplicação da ACV de forma consistente considerando o ciclo de vida de uma edificação popular, a partir da fase construtiva até a demolição.

Os objetivos dessa metodologia é organizar, selecionar e classificar os dados para a modelagem de uma ACV, buscando confiabilidade de resultados e suporte na tomada de decisão.

A busca dessa metodologia tem a preocupação de unir novos e avançados conhecimentos da ACV com o uso de materiais e práticas na construção e seus impactos no país. Com a organização desses dados, pretende-se viabilizar um roteiro de estudo que auxilie os profissionais da área na utilização de modelagens computacionais e na confecção de um plano com diretrizes sustentáveis para a construção, manutenção e desmobilização de uma edificação popular de pequeno porte.

1.4 METODOLOGIA

Um estudo deve estar fundamentado e metodologicamente estruturado em procedimentos científicos validados com o intuito de satisfazer questionamentos e/ou esclarecer suas diretrizes, para alcançar o princípio da pesquisa. Quanto às classificações da pesquisa, esse estudo possui perfil de pesquisa quantitativa, qualitativa e exploratória.

A metodologia utilizada nesse estudo teve cunho exploratório ao caracterizar a relação da Avaliação do Ciclo de Vida e a indústria da construção no mundo e no Brasil. Visto que o tema é recente em estudos e pesquisas, faz-se necessária uma análise mais profunda da literatura disponível.

A investigação foi baseada em pesquisa bibliográfica dividida em duas etapas. A primeira foi fundamentar o referencial teórico necessário para o conhecimento dos conceitos e estratégias de uma ACV. A segunda etapa foi pesquisar os estudos de casos, os aplicativos e os bancos de dados disponíveis, com suas especificações de cálculo e métodos, englobando as categorias de impacto utilizadas, apontando suas vantagens e desvantagens. Nessa etapa foram feitas visitas a universidades que possuem grupos de pesquisa sobre ACV e as ferramentas computacionais, no Brasil e na Espanha, como a Universidade Federal do Rio de Janeiro (Escola de química e GESTORE), Universitat Politècnica de

Catalunya (Barcelona), Universitat de Barcelona (Barcelona) e Universitat Rovira i Virgili (Tarragona).

A pesquisa bibliográfica foi realizada a partir de buscas em periódicos específicos, tais como o International Journal of Life Cycle Assessment, Journal of Industrial Ecology, Journal Energy and buildings, Journal Construction and Building Materials, Journal Science of the Total Environment, Journal of Industrial Ecology e Journal of Cleaner Production, em livros técnicos, as normas ISO, artigos publicados em anais de congressos e em sites institucionais como os da Sociedade Internacional de Química e Toxicologia Ambiental (Setac), Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Unep), Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), no acervo bibliográfico da Universitat Politècnica de Catalunya (UPC – Barcelona) e o portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), onde se encontram as teses e as dissertações defendidas junto aos programas de pós-graduação do país, entre outros sites.

Os aspectos considerados para o levantamento dos dados nesta etapa metodológica foram:

- o estado da arte da ACV (panorama geral, conceitos, classificação);
- experiências consolidadas da ACV no mundo e no Brasil;
- iniciativas de países ou regiões em desenvolvimento;
- o desenvolvimento da ACV na indústria da construção;
- as aplicações e os resultados da ACV na indústria da construção em edificações no Brasil.

As ênfases nas metodologias qualitativa e quantitativa estão na identificação dos parâmetros e os critérios quanto ao desdobramento de uma ACV em um empreendimento de construção no Brasil e sua aplicação numa modelagem. Através desses parâmetros e critérios é possível construir uma metodologia que valide os dados de uma edificação popular de pequeno porte, os quais geralmente não são controlados e padronizados para alimentar uma modelagem computacional.

Encontra-se então um dos desafios desse trabalho que foi estruturar essa metodologia através da formação de um sistema, com fronteiras definidas, que possui fases, processos e fluxos. Com o mapeamento dos processos é possível identificar os elementos referentes de entrada e de saída em cada processo, observando o fluxo das atividades.

O produto dessa metodologia é a qualidade dos dados, a classificação dos resíduos e dos impactos ambientais, as diretrizes sustentáveis e o suporte à tomada de decisão. Como consequência, surge também a discussão sobre o uso e os resultados dos aplicativos e bancos de dados na prática da ACV em edificações.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta tese apresenta um corpo principal contendo seis capítulos descritos a seguir.

O corrente capítulo aborda a relevância e a justificativa do tema para a indústria da construção, caracteriza o problema, descreve os objetivos e a metodologia usada para alcançá-los. Finaliza-se apresentando a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 apresenta os conceitos e as definições da fundamentação teórica acerca da sustentabilidade e suas ferramentas aplicadas à indústria da construção. Descreve o funcionamento da Avaliação do Ciclo de Vida, seus métodos, categorias, aplicativos e banco de dados. Em seguida, as características da cadeia de suprimentos da indústria da construção no Brasil são detalhadas em relação ao volume de recursos naturais consumidos, a parcela representativa de investimentos financeiros e a importância dos estudos dos impactos gerados por ela.

O capítulo 3 aborda a Avaliação do Ciclo de Vida aplicada ao subsetor de edificações. Esboça o processo complexo e as limitações da ACV na construção e o suporte a tomada de decisão. Identifica os desafios da aplicação da ACV nos países em desenvolvimento. Caracteriza todas as fases do ciclo de vida de uma edificação. Detalha os aplicativos disponíveis e o seu desempenho na modelagem em construção. Apresenta os bancos de dados existentes e o panorama do banco de dados brasileiro.

No capítulo 4 são detalhados os pressupostos e hipóteses do modelo teórico que auxilie a aplicação de uma ACV. Os critérios do modelo, as análises quantitativa e qualitativa dos dados e o as perspectivas macro e micro do sistema delimitado com as fases do ciclo de vida de uma edificação.

No capítulo 5, os processos do modelo teórico são mapeados e os respectivos resultados são descritos. Identificam-se as entradas e saídas dos processos conforme a fase do ciclo de vida, os resíduos oriundos das atividades das fases e os possíveis impactos ambientais com as suas categorias (midpoint e endpoint). Relata-se também a discussão em torno dos aplicativos para a ACV.

O capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho e a importância do modelo de avaliação, seus resultados e a sua contribuição na tomada de decisão.

2 GESTÃO DA SUSTENTABILIDADE

Nesse capítulo são apresentados os conceitos e aspectos que caracterizam o tema sustentabilidade, bem como a originalidade do termo desenvolvimento sustentável. Através da pesquisa, busca-se expor as tendências dos conceitos, considerando suas vertentes, divergências e perspectivas orientadas.

Aborda-se ainda a discussão dos parâmetros para uma visão prática e viável da sustentabilidade aplicada à construção civil, aplicando os conceitos de avaliação do ciclo de vida à cadeia de suprimentos. É importante salientar a necessidade de se verificar os impactos e riscos relacionados à aplicação de técnicas com ACV.

2.1 SUSTENTABILIDADE

Todo sistema produtivo depende da exploração dos recursos naturais direta ou indiretamente, respeitando os limites ambientais, não há entrave para o desenvolvimento (NASCIMENTO, 2010). Diante do exposto, constata-se que a preocupação com os impactos nocivos ao meio ambiente deve ser considerada com a finalidade de reduzi-los ao máximo, trazendo junto ao sistema produtivo a possibilidade de um desenvolvimento econômico e principalmente social, que atendam a sociedade de hoje e se perpetuem às gerações futuras. Surge desse entendimento a necessidade de implantar uma nova forma de desenvolvimento, renovável e de prosseguimento, o desenvolvimento sustentável (BIDONE, 2004).

Nas diversas áreas produtivas, os profissionais são encorajados a assegurar que os projetos de forma geral possuam um tempo de vida longínquo para o seu uso pretendido e empregar a menor quantidade de recursos naturais (por exemplo, em materiais e energia necessária para sua produção) como também as demandas sociais e econômicas (DANATZKO, 2010).

A demanda da sociedade atual por soluções que priorizem a conservação do meio ambiente e mantenha a exploração dos recursos do planeta de forma a não torná-la exaurível, reforça a necessidade de um estudo profundo que crie metodologias que possibilitem ações imediatas e cenários avaliados. A preocupação com a agilidade desses estudos teve caráter de urgência através da observação mundial nas mudanças e contaminações do meio ambiente por métodos impróprios e inconscientes devido à falta de planejamento quanto à exploração, ao uso e ao descarte. Surge então o tema sustentabilidade, uma solução para as questões políticas, sociais e culturais, norteando de maneira mais benéfica a utilização dos recursos naturais, minimizando ao máximo o impacto ambiental que afeta a sociedade de forma economia e social e cultural.

Um dos problemas mais debatidos exaustivamente é o aumento da temperatura média do ar (IPCC, 2011). Aproximadamente, 85% de corrente primária de energia utilizada pelas economias globais vem da combustão de combustíveis fósseis e o consumo dos mesmos, representa 56,6% de todas as emissões antrópicas de gases de efeito estufa. O IPCC Fourth Assessment Report (AR4) concluiu que a maior parte do aumento observado na temperatura média global desde meados do século 20 muito provavelmente se deve ao aumento observado nas concentrações antropogênicas de gases de efeito estufa. As concentrações de CO₂ continuaram a crescer e, no final de 2010 havia atingido 390 ppm (partes por milhão) de CO₂ ou 39% acima dos níveis pré-industriais, fornecendo um alerta para o aumento acelerado nas emissões e por conseqüência os seus impactos ambientais cada vez mais agressivos ao planeta (IPCC, 2011).

Os aumentos nas abundâncias de gases de efeito estufa na atmosfera desde a revolução industrial são os grandes responsáveis pela mudança observada no clima (IPCC, 2011). O IPCC toma a era pré-industrial (escolhido arbitrariamente como o ano de 1750) como linha de base para verificar as concentrações e a perturbação do clima com a composição de gases de efeito estufa de vida longa, em especial o dióxido de carbono (CO₂), responsável por maiores danos, metano (compostos CH₄), óxido nitroso (N₂O), e derivados halogenados (principalmente CFCs). Estes gases são responsáveis por cerca de 96% da força radioativa direta por gases de efeito estufa, os restantes, cerca de 4%, é uma contribuição de uma

variedade de 15 menores gases halogenados. A Figura 1 mostra as abundâncias médias globais dos principais gases de efeito estufa (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, CFC-12 e CFC-11), desde o início de 1979.

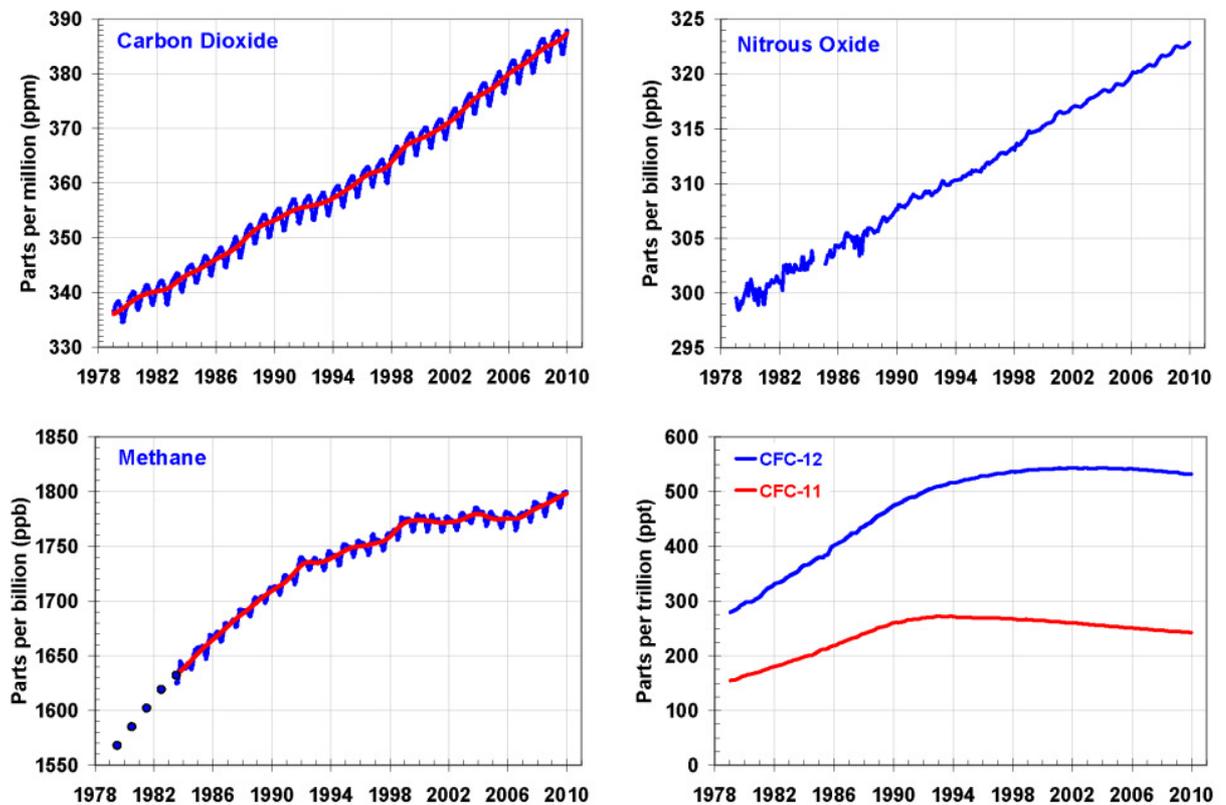


Figura 1 – Concentrações médias globais dos gases do efeito estufa.
Fonte: NOAA Earth System Research Laboratory, (2011).

A taxa de crescimento de CO_2 foi em média de 1,68 ppm por ano ao longo dos últimos 31 anos (1979-2010). A taxa de crescimento de CO_2 tem aumentado ao longo deste período, uma média de 1,43 ppm por ano antes de 1995 e 1,94 ppm por ano depois disso. A taxa de crescimento do metano declinou de 1983 até 1999, consistente com uma abordagem ao estado estacionário. Sobrepondo-se este declínio é a variabilidade interanual significativa nas taxas de crescimento (DLUGOKENCKY et al., 2003). A abordagem ao estado estacionário pode ter sido acelerada pelo colapso econômico da antiga União Soviética que diminuiu as emissões do setor de combustíveis fósseis. De 1999 a 2006, a carga foi de cerca de CH_4 constante, mas desde 2007, a média global CH_4 começou a aumentar novamente. As causas para os recentes aumentos são temperaturas quentes no Ártico em 2007 e aumentou a precipitação nos trópicos, em 2007 e 2008

(DLUGOKENCKY et al., 2009). O óxido nitroso continua a aumentar a uma taxa de crescimento relativamente uniforme. O CFC aumentou até 2000 e diminuiu nos últimos anos. Esse evento é uma resposta à diminuição das emissões relacionadas ao Protocolo de Montreal relativo às substâncias que empobrecem a camada de ozônio (MONTZKA et al, 2011). Verificam-se, com um aumento acelerado das concentrações dos gases de efeito estufa, riscos de grandes impactos ambientais com mudanças drásticas do clima, reafirmando a proposta de estudos sustentáveis para a vida no planeta.

Nos fóruns mundiais, muito tem se discutido sobre o papel da sustentabilidade e soluções palpáveis, coerentes e corretivas para minimizar os efeitos atuais do desequilíbrio ambiental causado pelo homem. Levanta-se também a visão futura dos obstáculos já identificados para que a sociedade não tenha perdas no desenvolvimento. A partir dessa discussão, é relevante abordar os diversos enfoques de sustentabilidade, segundo os diversos autores. Considera-se que o interesse é a temática do ciclo de vida na construção civil e seus elementos. Dessa forma, é fundamental delimitar sobre quais conceitos e análises estão relacionados à visão de sustentabilidade trabalhada. Vale ressaltar então o estudo da evolução histórica do tema vinculado ao trabalho.

Segundo Ortiz-Rodriguez (2009), há muitas definições para sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, mas a maioria concorda que os dois termos podem ser descritos como a melhoria da qualidade de vida e, assim, permitir que as pessoas vivam em um ambiente saudável e possam melhorar as condições sociais, econômicas e ambientais para as presentes e futuras gerações (Relatório Brundtland, 1987).

Conforme Beiriz (2010) existem múltiplos níveis de sustentabilidade, o que leva a questão da inter-relação dos subsistemas que devem ser sustentáveis, o que, por si só, não garantem a sustentabilidade do sistema como um todo.

Consoante D'Angelo (2009), o termo desenvolvimento sustentável teve sua origem no conceito de eco desenvolvimento, oriundo da preocupação com a preservação do meio ambiente conjugada à melhoria das condições socioeconômicas da população. O termo foi introduzido por Maurice Strong,

secretário-geral da Conferência Mundial das Nações Unidas para o Meio Ambiente de Estocolmo, em 1972, e largamente difundido por Ignacy Sachs, a partir de 1974. Consistia na definição de um estilo de desenvolvimento adaptado às áreas rurais do Terceiro Mundo, baseado na utilização criteriosa dos recursos locais, sem comprometer o esgotamento da natureza, pois nestes locais ainda havia a possibilidade de tais sociedades não se engajarem na ilusão do crescimento inatingível (GODARD, 1991; RAYNAUT; ZANONI, 1993 apud MONTIBELLER, 2004). A Figura 2 mostra a síntese das origens, características e expansão do movimento ambientalista, juntamente com as conferências e termos.

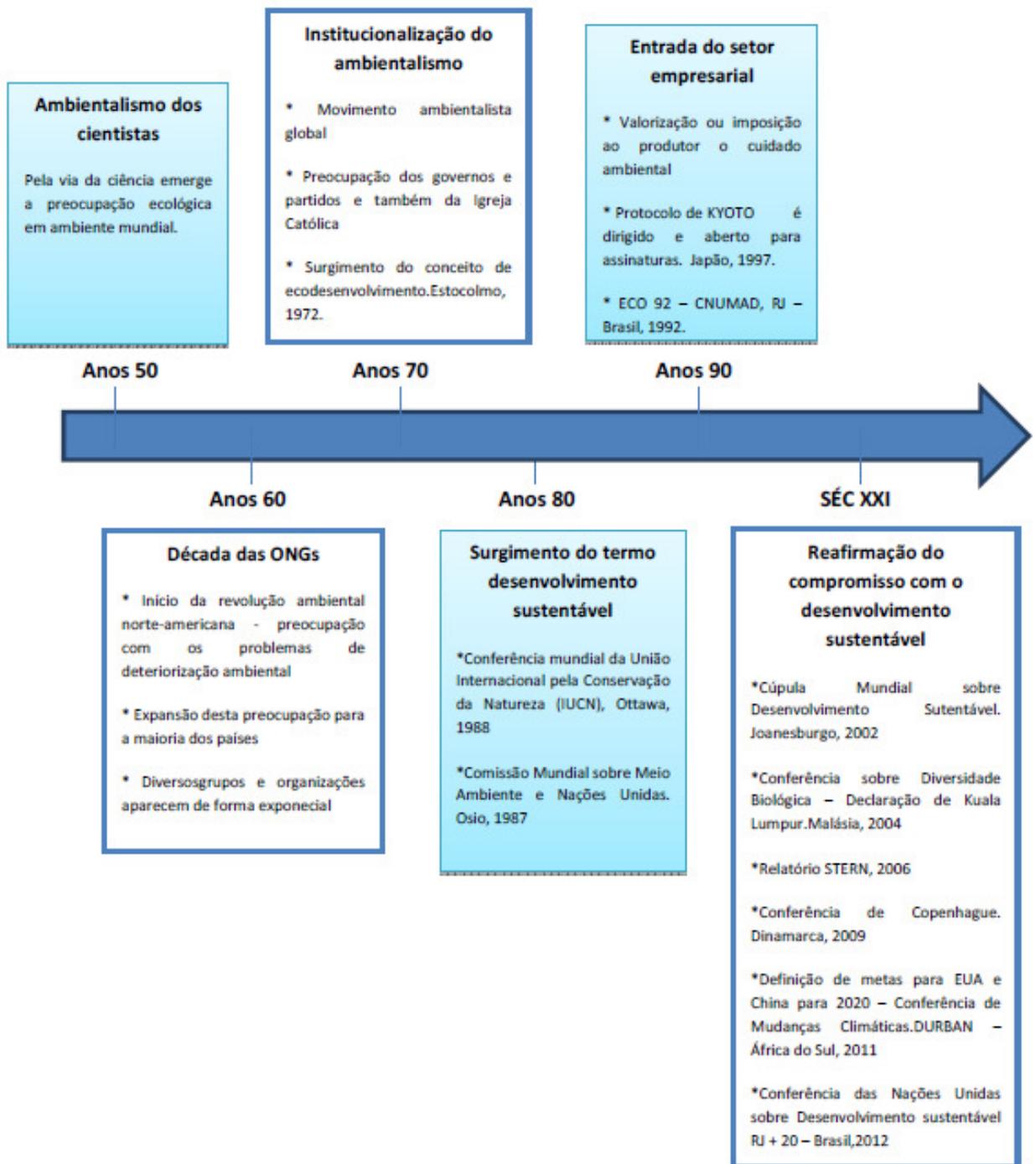


Figura 2 - Origens, características e expansão do movimento ambientalista.
Fonte: Baseado em MONTIBELLER (2004)

A princípio, o termo desenvolvimento sustentável foi discutido pela World Conservation Union, também chamada de International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN), no documento intitulado World's Conservation Strategy (IUCN et al., 1980). Esse documento assegura que, para o desenvolvimento ser sustentável, devem ser considerados os aspectos referentes às dimensões social e ecológica, bem como fatores econômicos, fatores dos recursos

vivos e não-vivos e as vantagens de curto e longo prazo de ações alternativas. O documento tem ênfase na integridade ambiental como prioridade (BEIRIZ, 2010). Já no Relatório Brundtland (WCED, 1987), o foco desloca-se para o elemento humano, gerando um equilíbrio entre as dimensões econômica, social e ambiental.

Desde a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED), intitulado *Nosso Futuro Comum*, em 1987, o desenvolvimento sustentável tem chamado a atenção em grande parte das nações, e foi publicado um relatório (relatório Brundtland, 1987) invocando uma estratégia que uniria desenvolvimento e meio ambiente, fazendo também uma declaração com o seguinte teor: "desenvolvimento sustentável como satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações satisfazerem suas próprias necessidades" (Ibidem, Relatório Brundtland, 1987). Então, de uma forma ampla, é o desenvolvimento econômico, social, científico e cultural das sociedades buscados de forma efetiva e próspera, ou seja, que satisfaça a necessidade da sociedade de hoje e atinja a satisfação da sociedade de amanhã, utilizando sim os recursos naturais necessários, porém com responsabilidade e compromisso quanto a sua manutenção, sem exaurir os mesmos. Isso porque este relatório mostra não só a preocupação com o atendimento às necessidades básicas da sociedade, mas também com a extensão de oportunidades para satisfazer suas aspirações a uma vida melhor.

Desde então, desenvolvimento sustentável passou a ser adotado como expressão oficial nos documentos emanados de organizações como a Organização das Nações Unidas (ONU) e o Worldwide Fund for Nature -WWF (ORTIZ-RODRÍGUEZ, 2009). Duas outras razões fortaleceram esse conceito: a primeira, por ser uma expressão mais neutra axiologicamente, pode ser incorporada tanto em propostas liberais como de esquerda; a segunda, por exprimir uma economia maior com o funcionamento dos ecossistemas naturais, torna atrativa e aceitável para os ambientalistas (CASTRO, 1996).

Foi criada em 1989 pela ONU a Comissão do Desenvolvimento Sustentável (CDS) para promover um plano de ação sobre o andamento das metas da Agenda 21 que foram fundamentadas no Relatório Brundtland. A Agenda 21 é um documento estratégico adotado pela Conferência das Nações Unidas sobre Meio

Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), realizada no Rio de Janeiro, em 1992. Esse documento mostra que os indicadores de monitoramento do progresso rumo ao desenvolvimento sustentável são necessários a fim de auxiliar os tomadores de decisão e nas definições das diretrizes políticas a cerca do assunto.

O Relatório Brundtland é denso, consistente e coerente, pois aborda as preocupações, os desafios e os esforços comuns de todas as nações, nas várias esferas da realidade humana, como econômica, social, ambiental, política, saúde e educação. Por isso permite muitas interpretações quanto à sua abrangência, sendo, portanto, passível de críticas (D'ANGELO 2009).

Algumas críticas ou divergências são originadas do campo ideológico da dimensão em que cada autor se coloca, bem como o entendimento sobre a exequibilidade do conceito. Haavelmo e Hansen (1991) dizem que há contradições nesta tese do desenvolvimento sustentável defendida pelo Relatório Brundtland (1987). Para eles, a proposição básica de “produzir mais com menos” deste relatório e em autores que lhe deram seqüência, implica aceitar: i) que o padrão de consumo vigente no mundo industrializado pode ser mantido, expandido e difundido globalmente; ii) que prevalece o status do consumidor; iii) que a tecnologia será capaz de produzir cada vez mais utilizando menos recursos (otimismo tecnológico).

Já Becker et al. (2002) questiona a quem caberia definir os parâmetros valorativos e políticos capazes de nortear a integração sistêmica entre diferentes níveis da vida social – entre a exploração dos recursos naturais, o desenvolvimento tecnológico e a mudança social –, derivada da noção de desenvolvimento sustentável.

De forma geral, existem duas correntes. Uma delas segue o padrão de "fraca sustentabilidade", na qual se encontra a hipótese de que existe substituição perfeita entre capital natural e capital material (NASCIMENTO, 2010), ou seja, existe a possibilidade tecnológica de crescimento contínuo, desde que parte da renda econômica seja reinvestida de forma a manter o nível total de capital (natural e material) de uma economia. Desta forma, garante-se uma capacidade produtiva (e de acesso a recursos naturais de consumo direto) a gerações futuras equivalente ao que é disponível à geração presente (AZEVEDO, 2006).

No outro extremo, encontra-se o padrão de "forte sustentabilidade", no qual as duas formas de capital não são substituíveis e, portanto, o crescimento sustentável só se daria se o nível do estoque de capital natural fosse mantido constante (NASCIMENTO, 2010). Ou seja, como seriam muito restritas as possibilidades tecnológicas de compensar perdas de capital natural por capital material, o bem-estar de gerações futuras somente estaria garantido se o estoque de capital natural fosse mantido intacto (MOTTA, 1996).

Apesar de muitos autores demonstrarem um afastamento progressivo do conceito, há um consenso sobre a questão do componente social no desenvolvimento sustentável. Essa ênfase está refletida no debate que ocorre sobre a inclusão ou não de medidas sociais na definição. Esse debate aparece em função da variedade de concepção sobre sustentabilidade que contem componentes que não são mensurados usualmente, como o cultural e o histórico. Os indicadores sociais são considerados especialmente controversos, pois refletem contextos políticos e ideológicos. A integração de medidas de mitigação é ainda mais complexa pelas diferentes, ou incompatíveis dimensões. A definição do Relatório de Brundtland não estabelece um estado estático, mas um processo dinâmico que pode continuar a existir sem a lógica autodestrutiva predominante. As diferentes forças que atuam no sistema devem estar em balanço para que o sistema como um todo se mantenha no tempo (BEIRIZ, 2010).

Desta forma, buscou-se alinhar as diretrizes do desenvolvimento sustentável com medidas possíveis e exequíveis para construção de uma solução que integre e zele pela manutenção do equilíbrio entre os aspectos sociais, econômicos e ambientais. Emerge então o conceito de sustentabilidade como um novo paradigma para o século 21 e seus anseios por desenvolvimento.

Desde o início, o conceito de sustentabilidade está ligado à idéia de manutenção de "algo" que subsiste ao longo do tempo (EGAS 2008). Era uma formulação comum usada em princípios ambientais de manutenção dos recursos naturais ou biodiversidade do planeta (SILVA, 2000). As primeiras noções e debates sobre um estado "sustentável" estavam relacionados mais diretamente às questões ambientais, iniciadas na década de 70, com o começo da crise dos combustíveis fósseis. Conforme Sachs (1993), as atenções se voltaram para a questão ambiental

nas décadas de 70 e 80 também pela ampliação dos conceitos empíricos sobre o funcionamento da biosfera e sobre os riscos possíveis de acidentes nucleares e químicos, desastres provocados pelo homem, aquecimento global, além de ameaças à segurança representadas pelos conflitos e disputas por recursos naturais.

A palavra e o conceito de sustentabilidade foram difundidos de uma forma ampla pelo sociólogo inglês John Elkington ao fundar a consultoria SustainAbility em 1987, pouco antes da divulgação do Relatório Brundtland (D'ANGELO 2009).

Com a popularização desse termo, buscou-se uma perspectiva de negócios por parte das organizações como estratégia relacionada intimamente com a responsabilidade social.

Sustentabilidade é geralmente definida como um estado estacionário (SHAN-SHAN CHUNG, CARLOS W.H. LO, 2002). Em termos de recursos naturais, a sustentabilidade implica numa constância em seus próximos balanços (REIJNDERS, 2000). Com o aumento do reconhecimento para atingir a sustentabilidade, pesquisadores de várias disciplinas estão desenvolvendo princípios de sustentabilidade e estratégias pertinentes para suas próprias áreas (PUSHCHAK E ROCHA, 1998; REDCLIFT, 1994; CONSUMERS INTERNATIONAL, 2011).

Segundo Craig e Dale (2008), a definição mais adotada e mais citada da sustentabilidade é o da Comissão Brundtland (Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, de 1987, “desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas necessidades”). Incluído dentro desta rubrica ampla do termo sustentabilidade, há questões como a compreensão do impacto ambiental na economia de países em desenvolvimento e industrializados (ERLICH E ERLICH, 1991), garantir a segurança alimentar em todo o mundo (LAL et al, 2002.), assegurar que as necessidades humanas básicas sejam atendidas (SAVITZ E WEBER, 2006), e garantir a conservação dos recursos não-renováveis (WHITEMAN E COOPER, 2000).

Infelizmente, de uma forma macro-econômica, a definição de sustentabilidade é difícil para aplicação nas organizações e oferece pouca orientação sobre como as organizações podem identificar as necessidades futuras em relação ao presente

(CRAIG E DALE, 2008). Também há dificuldade em determinar as tecnologias e os recursos necessários para atender a essas necessidades, e entender como efetivamente executar o equilíbrio nas responsabilidades organizacionais de várias partes interessadas, tais como acionistas, funcionários, outras organizações na cadeia de abastecimento, e demais partes interessadas, incluindo a sociedade e o ambiente natural (HART, 1995; STARIK E RANDS, 1995). Aplicações mais micro-econômicas da sustentabilidade têm sido investigadas nas áreas de gestão, operações e engenharia. Há uma grande preocupação com a cadeia de suprimentos e o desempenho dentro da perspectiva sustentável, por isso faz-se necessário uma avaliação do ciclo de vida para um entendimento completo das diretrizes nesse trabalho, focando a construção civil, e ainda alcançar proposições viáveis para práticas sustentáveis. Na área de engenharia, buscam-se ponderações iguais para a estabilidade econômica, compatibilidade ecológica e equilíbrio social (GO'NCZ et al. 2007, p. 4).

Na década de 90, Elkington (1998) ampliou o conceito de sustentabilidade para um modelo de mudança social e essa estrutura ficou conhecida como o "Triple Bottom Line" ou "Tripé da Sustentabilidade" – integração entre as dimensões econômica, humana e ambiental –, seguido dos termos "People, Planet, Profit", ou "Pessoas, Planeta e Lucro" (D'ANGELO 2009). Ficaram conhecidos como a estratégia dos 3Ps. Este modelo de mudança social parte da idéia de que as organizações devem medir o valor do que geram, ou do que destroem, nas dimensões econômica, social e ambiental (ELKINGTON, 1998, 2004). A Figura 3 mostra o conceito de sustentabilidade, segundo o Tripé da Sustentabilidade, em suas três dimensões propostas.

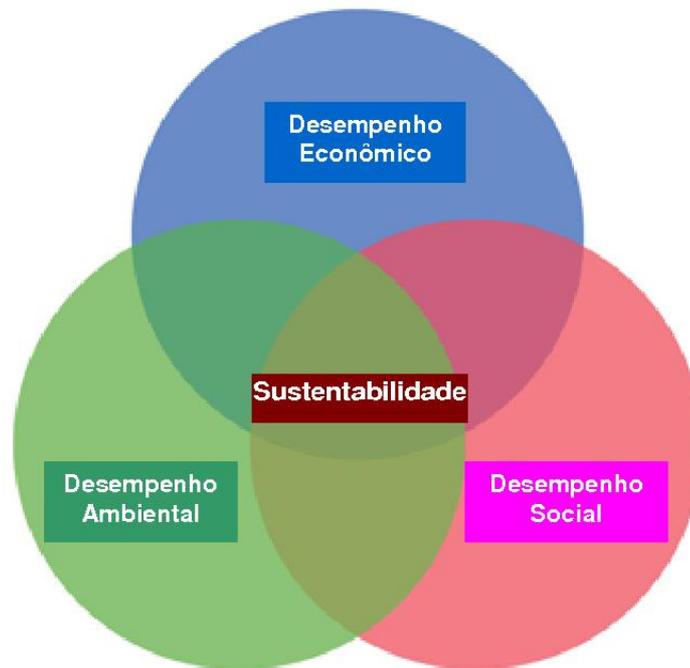


Figura 3 – Sustentabilidade: o Tripé (*triple bottom line*).
 Fonte: Adaptado de Craig R. Carter, Dale S. Rogers, (2008)

Conforme a Figura 3, a sustentabilidade possui três pilares fundamentais (ORTIZ-RODRIGUEZ 2009):

Econômico: necessita-se de crescimento econômico para garantir o bem-estar material. A economia é essencial para longo prazo de subsistência da comunidade. No mundo da sustentabilidade, muitas pessoas associam esta categoria com as práticas de negócios ambientais, eficiência energética e negócios sustentáveis.

Ambiental: é preciso minimizar os danos ambientais, poluição e esgotamento dos recursos. Questões ambientais são os fundamentos do movimento de sustentabilidade e estão intrinsecamente envolvidos com a economia e sociedade, componentes do tripé. A relação da comunidade com o ambiente é complexo, envolvendo a extração de recursos e de consumo que afetam aspectos locais e globais.

Social: os recursos do mundo devem ser compartilhados de forma mais equitativa entre os ricos e os pobres. Igualdade social em termos de sustentabilidade é muitas vezes considerado como inter-geracional, em que as ações hoje vão afetar

drasticamente as comunidades do futuro. No entanto, os atuais padrões sociais desempenham um papel significativo na sustentabilidade da futura comunidade.

A figura sugere um equilíbrio entre os objetivos econômicos, sociais e ambientais. Dentro deste contexto, organizações reconhecem que a sustentabilidade:

[...] não é simplesmente uma questão de boa cidadania corporativa - ganhando pontos para reduzir as emissões nocivas de sua fábrica ou fornecer benefícios de saúde para os seus funcionários, pois sustentabilidade agora é um princípio fundamental da gestão inteligente [...] (SAVITZ e WEBER, 2006).

Então, o *triple bottom line* sugere que na intersecção do desempenho social, ambiental e econômico, haja atividades em que as organizações possam se envolver não só buscando aspectos positivos para o meio ambiente e a sociedade, mas que também resultem a longo prazo em benefícios econômicos e vantagem competitiva para a empresa, fornecendo incentivos para as práticas sustentáveis (CRAIG E DALE, 2008).

Outros aspectos que dão suporte para o *triple bottom line* que surgiram com a revisão de literatura sobre sustentabilidade, estão inclusos nas definições explícitas da gestão de risco, estratégia de transparência e cultura (HART, 1995; ELKINGTON, 1998; HENRIQUES E RICHARDSON, 2004; JENNINGS E ZANDBERGEN, 1995; STARIK E RANDS, 1995; SARKIS, 2001; SAVITZ E WEBER, 2006).

Cada um desses aspectos é inter-relacionado com o núcleo presente na figura do tripé da sustentabilidade e suas respectivas áreas de atuação. Juntos complementam a avaliação prática de requisitos sustentáveis. As variáveis adicionais sugeridas por esses aspectos serão abordadas com as suas proposições e discussões de uma forma objetiva, formando alguns estudos abordados em seções futuras no referido trabalho.

Apesar da gestão de risco não ser parte das definições operacionais da sustentabilidade na literatura, o conceito de risco e gestão de risco é um tema recorrente nesse assunto quando se discute a avaliação e ponderação de medidas eficazes. Shrivastava (1995b) defende que, no contexto da sustentabilidade, uma

organização não deve gerenciar apenas a curto prazo os resultados financeiros, mas também fatores de risco como resíduos ambientais, saúde ocupacional e segurança. Avaliar os riscos está sistematicamente relacionado aos parâmetros futuros, precisamente de longo prazo sobre a disponibilidade do meio ambiente e atividades extrativas. Para as organizações, tornar-se ciente e gerenciar esses riscos associados à escassez de recursos utilizados como insumos da cadeia de suprimentos e flutuações nos custos de energia, representa parte da sua estratégia de sobrevivência e visão de futuro. O engajamento pró-ativo em práticas sustentáveis reduz o risco da introdução de novas e onerosas regulamentações (PORTER E VAN DER LINDE, 1995).

Risco pode ser amplamente definido como a probabilidade de variação em torno de um resultado relacionado a sua severidade, e se trata de um conceito multidisciplinar, incluindo economia e gestão. Zsidisin (2000) define riscos da cadeia de suprimentos como a potencial ocorrência de um incidente de fornecimento de entrada que leva à incapacidade de atender a demanda do cliente, considerando inclusive a variação de preços dos insumos, energia e conformidade dos fornecedores, gerando impactos ambientais e sociais. Através dessa visão, corporações estão unificando pensamentos e reconhecendo que a gestão de risco é uma espécie do gênero sustentabilidade (CRAIG E DALE, 2008). Cita-se, por exemplo, a Hewlett Packard (2006, p. 50), que assinala no seu relatório anual de sustentabilidade uma avaliação preliminar do risco da base de fornecimento para determinar prioridades. Os critérios de risco incluem localização geográfica, química e/ou processos de trabalho intensivo.

Observa-se também essa prática dentro das empresas de construção, pois é imprescindível o estudo prévio de todas as necessidades de um canteiro em funcionamento. Os riscos nessa área se concentram em custos com insumos, logística, energia e a adequação da conformidade.

A transparência é mencionada exhaustivamente nas discussões da sustentabilidade organizacional, embora não esteja incluída nas definições formais. Observa-se isso através da literatura como, por exemplo, Hart (1995, p. 1000), que afirma:

Cada vez mais, as comunidades locais e partes interessadas externas estão a exigir que empresas práticas tornem-se mais visíveis e transparentes [...] Para manter a legitimidade e construir reputação, portanto, as empresas podem precisar abrir suas operações para um maior conhecimento público.

Essa mudança de paradigma está sendo impulsionada pelo progresso dos sistemas de informação que interligaram o mundo, principalmente através de internet. Também há outros fatores, como a disponibilidade de softwares e globalização das cadeias de abastecimento (FRIEDMAN, 2005). Manter as ações empresariais obscuras e sigilosas sobre as suas explorações para sobrevivência é uma decisão muito arriscada e difícil nesse século, quando o assunto se retrata a questões ambientais e sociais. Transparência não inclui apenas relatar aos diretamente interessados as atividades da empresa, mas também todas as partes indiretamente interessadas, e usar o seu *feedback* para apresentar e melhorar os processos da cadeia de fornecimento. Esta transparência abrange as atividades de *marketing* verde dentro de uma perspectiva das partes interessadas (RIVERA-CAMINO, 2007), bem como as linhas mais tradicionais de *marketing* (DRUMWRIGHT, 1996).

Como observado pela Nike (2005, p. 29):

Transparência em toda a indústria de nossas fábricas com o respectivo contrato que irá promover uma maior colaboração, o compartilhamento de informações de monitoramento e reforço de remediação causando expectativas em toda a indústria. Isso também poderia diminuir a carga sobre os fornecedores que tratam com os requisitos de auditoria contraditória por vários compradores.

Iniciativas de uma organização e sua estratégia de sustentabilidade corporativa devem ser interligadas, ao invés dos habituais, programas separados, que são gerenciados independentemente um do outro (SHRIVASTAVA, 1995a). No seu relatório anual de sustentabilidade, a IBM (2005, p. 15) descreve a integração de sua estratégia com o “triple bottom line” e o seu núcleo estratégico de negócios; e a Hewlett Packard (2006) diz que seu objetivo “é conectar o nosso compromisso corporativo com a cidadania global interligando a conduta do dia-a-dia dos negócios da HP. Para conseguir isso, optamos por alinhar a nossa estratégia de cidadania global e prioridades com nossa estratégia de negócios para maximizar o impacto de nossos investimentos”.

Então, as organizações que se transformam em empresas sustentáveis não apenas sobrepõem iniciativas de sustentabilidade com as estratégias empresariais. Essas organizações também têm (ou mudaram) suas culturas e mentalidades de empresa em relação à sociedade e ao planeta (SAVITZ E WEBER, 2006). O reconhecimento dessas organizações já pode ser medido por indicadores do mercado financeiro que classificam essas iniciativas empresariais, como o *Dow Jones Sustainability Indexes* (2011), que relaciona desempenho financeiro com responsabilidade ambiental e social.

Craig e Dale (2008) defendem que a inter-relação entre gestão de risco, transparência, cultura e estratégia apóiam o funcionamento do *triple bottom line* e não se destinam a ser mutuamente exclusivos. Então, todas essas vertentes formam um sistema integrado estruturado por práticas sustentáveis na cadeia de suprimentos que podem ser aplicadas em diversas áreas, principalmente na indústria da construção, pelo seu relevante uso de insumos. A proposta de interação de todos os aspectos do tripé da sustentabilidade estará explicitada na seção 2.4 da cadeia de suprimentos nesse trabalho.

2.2 GESTÃO DA SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO

A sustentabilidade tem como princípio a manutenção de um sistema que permite a sua existência contínua em equilíbrio, suportando as suas próprias necessidades, sem comprometer metas futuras. Dessa forma, entende-se que a sociedade como um todo deve ter consciência desse processo que a cerca, principalmente no que tange recursos naturais. Os ambientes construídos transformam a natureza conforme o desejo e o *design* do homem desde a antiguidade, e esses fatos estão intimamente relacionados ao consumo de recursos conforme a técnica construtiva utilizada e o desenvolvimento social. O crescimento populacional, e conseqüentemente, dos centros urbanos somado às construções do século passado fizeram das cidades um considerável foco de poluição, no que diz respeito principalmente à quantidade de efluentes líquidos e resíduos sólidos produzidos e descartados, impossibilitando ao meio ambiente a reintegração destes materiais (BARRA et al, 2006).

Muitas indústrias alcançaram grande desempenho tecnológico e crescimento ao longo dos últimos trinta anos, porém, com a mesma proporção, seus impactos também foram avançando conforme as necessidades surgiram. A preocupação é com o uso indiscriminado dos recursos naturais (ambiental) e também humano (social) há vários anos sem a preocupação de uma reposição natural dos mesmos e a exploração inadequada dos substratos requeridos, bem como o descaso com os respectivos resíduos referentes a esse crescimento. Todo esse cenário é nitidamente visível no setor da construção civil, que, além de consumir uma enorme quantidade de recursos naturais, gera e descarta toneladas de resíduos de construção e demolição, não equilibrando seu ciclo produtivo, causando com isso gravíssimos impactos ambientais.

A indústria da construção é uma das principais indústrias no mundo que mais se consome insumos e energia. Ela também é uma das maiores geradoras de empregos e incorporadora de capitais. Seu crescimento está sendo impulsionado e sua projeção é de larga escala mundial. Um novo relatório, divulgado pela Global Construction Perspectives e Oxford Economics, prevê que o crescimento na construção global ultrapassará o crescimento do PIB mundial na próxima década. O crescimento em potências asiáticas e a recuperação cíclica nos EUA devem impulsionar o crescimento maciço na construção mundial nos próximos 10 anos. A construção global deverá crescer quase 70% dos atuais US\$ 7,2 trilhões para US\$ 12 trilhões até 2020 (CORECON-CE, 2011). China, EUA e Índia são responsáveis por mais da metade do crescimento de US\$ 4,8 trilhões. "A construção jamais viu um crescimento tão grande, impulsionado pelas superpotências emergentes da China e da Índia e por uma recuperação na construção dos EUA", afirma Graham Robinson, diretor da Global Construction Perspectives, um dos autores do relatório. O relatório Construção Global 2020 diz que um total de US\$ 97,7 trilhões serão gastos na construção mundial nos próximos dez anos (GLOBAL CONSTRUCTION, 2011).

A construção de edifícios utiliza uma quantidade excessiva de recursos (quase 50% do total consumido pela indústria da construção), sendo a maior parte deles não renováveis (JOHN, 2000). O uso indiscriminado desses recursos causa cada vez mais escassez na natureza e desequilíbrio dos ecossistemas (DE

OLIVEIRA, 2009). O consumo de energia pelas edificações no Brasil é de 45,2% do total consumido no país, sendo que disto, 23,2% são para o setor residencial (BEN, 2010). A energia consumida na construção possui dois grandes problemas: o primeiro trata do desperdício e alternativas para a energia utilizada, o segundo é em relação à origem de grande parte dessa energia, pois a mesma é gerada a partir de fontes não renováveis como o carvão mineral, gás natural e os combustíveis derivados do petróleo, cuja queima produz CO₂, principal causador do efeito estufa. A indústria da construção é a atividade humana que mais exerce impacto direto na biodiversidade, poluindo e degradando áreas naturais e ecossistemas para obter recursos.

Uma cadeia produtiva é um conjunto de etapas consecutivas, ao longo das quais os diversos insumos sofrem algum tipo de transformação, até a constituição de um produto final (bem ou serviço) e sua colocação no mercado. Um levantamento feito pelo MDIC (Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior) em 2006 verificou que a cadeia produtiva no Brasil tem participação no PIB de 16%, dos quais 7,3% para construção civil. Ela gera aproximadamente 3,95 milhões de empregos diretos, e, a cada 100 empregos diretos, gera 285 indiretos e induzidos. A construção é responsável por aproximadamente 30% do valor gerado pela indústria. Os dados quantitativos expressam, de forma clara, a importância da indústria da construção civil no setor econômico-social no Brasil e no mundo. No entanto, a operação da cadeia produtiva da construção civil deve levar em conta, além dos aspectos desejáveis e positivos, os aspectos indesejáveis e negativos, como, por exemplo, os grandes impactos ambientais.

Inseridas nesse cenário, a importância ambiental dessa cadeia tem origem basilar em dois fatores: o uso de recursos naturais e a geração de resíduos. A construção civil é responsável por cerca de 40% do volume de recursos naturais consumidos por atividades humanas e contribui com 60% da massa total de resíduos sólidos urbanos (JOHN, 2000; PINTO, 2004). No Brasil, o consumo de agregados (areia, brita, cascalho e argila) se aproxima dos 500 milhões de toneladas e existe uma projeção para 2022 de 800 milhões de toneladas, conforme a Figura 4. Para cada casa popular de 50 m² construída, são consumidos 68 toneladas de agregados (VALVERDE, 2006; IBRAM, 2011).

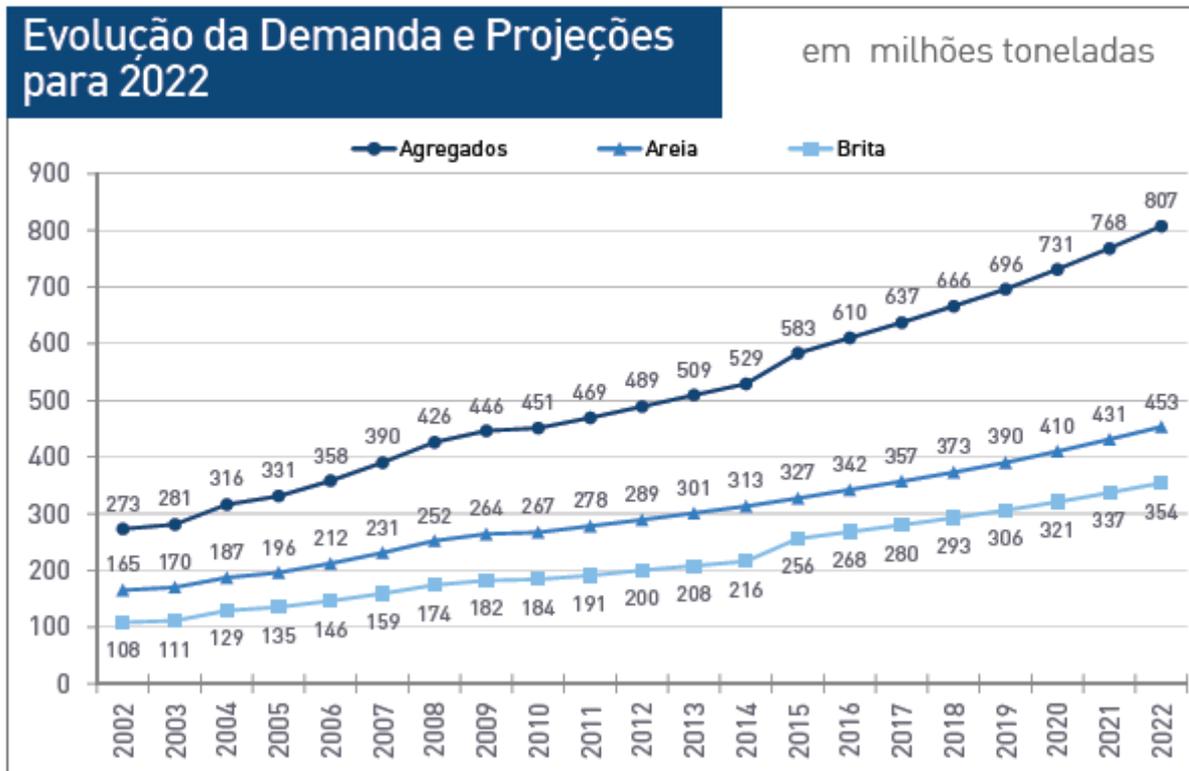


Figura 4 – Evolução da demanda e projeções dos agregados no Brasil.

Fonte: IBRAM (2011).

Segundo Bidone (2001), pesquisas com dados nacionais revelam que, para cada tonelada de resíduo urbano recolhido, são coletadas duas toneladas de resíduos de construção e demolição, oriundas da atividade construtiva.

Os resíduos da construção civil são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimentos asfálticos, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc.

Segundo o artigo quarto da resolução do CONAMA (n° 307, 2002), Os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.

A composição deste tipo de resíduo depende das características de cada construção e do grau de desenvolvimento da indústria em uma determinada região (CORNELI, 2009). No entanto, de maneira genérica no cenário brasileiro, os

materiais que predominam nos resíduos da construção civil são restos de tijolos, revestimentos cerâmicos, materiais provenientes de demolição de concreto e alvenaria, sucata metálica, madeira e embalagens em geral (PHILIPPI JR., 2005).

No Brasil, a resolução do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) estabelece as fronteiras de responsabilidades para gerenciamento dos resíduos de construção e demolição. A figura 5 representa a gestão de resíduos segundo a resolução CONAMA n° 307/02

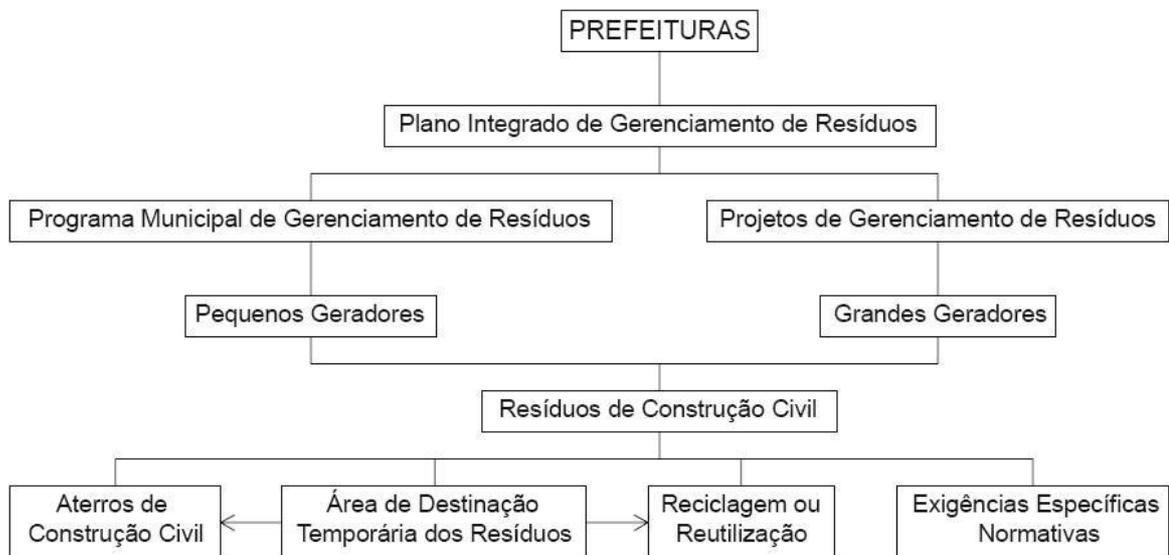


Figura 5 – Gestão de Resíduos, conforme a resolução CONAMA n° 307/02.

Fonte: OH et al (2003)

Conforme Fraga (2006), o desperdício de materiais, principal aspecto para a geração de resíduos, ocorre desde a seleção de fornecedores, passando pela etapa de projeto, aonde se tem soluções inadequadas como o seguinte: na fase de aquisição dos materiais, quando do transporte, recebimento e armazenamento no canteiro-de-obras; na fase de execução da obra, com aumento do consumo de materiais para correção das imperfeições, devido às técnicas construtivas; na fase de pós-ocupação, onde ocorre desperdício de materiais em função de reparos e finalmente na fase de desmobilização, onde o elemento fundamental a ser inserido é a preocupação com a destinação dos resíduos que deve começar ainda na fase de projetos. A falta de planejamento, inadequadas técnicas construtivas, detalhamento insuficiente e inapropriada manutenção favorecem o aumento dos resíduos e por

consequência a geração de impactos, que em alguns casos chegam a ser irreparáveis.

Com dados expressivos e legislação vigente, verifica-se a necessidade de estudar os impactos gerados por esses resíduos e viabilizar ferramentas precisas nessa avaliação a fim de minimizá-los.

Dessa forma, o setor de resíduos está ganhando a atenção através da prática de construções sustentáveis com avaliação de desempenho, em que o desenvolvimento sustentável emergiu como uma das questões-chave devido aos efeitos significativos da construção (ORTIZ et al, 2009a), em particular, devido a sua intensidade energética e seu uso da terra. Portanto, a melhoria dos indicadores sociais, econômicos e ambientais do desenvolvimento sustentável tem se mostrado como uma orientadora para a indústria da construção (ZIMMERMANN et al, 2005; UNEP, Indústria e Meio Ambiente, 2006).

As ações que procuraram inserir o tema sustentabilidade nos ambientes construídos possuíram inicialmente uma abordagem ambiental (MEBRATU, 1998; GAUZIN-MULLER, 2002; SZABÓ, 2005; UNITED NATIONS, 2008; UNEP, 2008; BRE, 2008; USGBC, 2008). A evolução dessa abordagem teve um grande avanço na última década, sendo criados certificações e métodos específicos para avaliação. Em 1990 foi lançado na Inglaterra o primeiro sistema de avaliação ambiental de construções do mundo, o BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method). O sistema certifica a construção com um selo “verde” (MOTTA, 2009).

Conforme De Oliveira (2009), a década de 90 passou por grandes mudanças nos sistemas de produção arquitetônica, marcada pela ênfase na alta qualidade e eficiência. Por um lado surgem os grandes edifícios inteligentes, marcados por sistemas automatizados e ainda com grande consumo energético, e, por outro, uma arquitetura mais sustentável, que passa a ser mais bem conceituada e normatizada. A arquitetura eco-eficiente passa a englobar preocupações com qualidade da água, do ar, gestão de recursos e de resíduos e uso de fontes alternativas para geração de energia.

Ainda nos anos 90, muitos artigos e livros foram lançados incentivando o debate sobre ocupação e recuperação da área, como no caso do artigo de Norman Foster; a utilização do saneamento de forma efetiva; como no livro *The Gaia Atlas of the Cities: New Direction for Sustainable Urban Living* de Herbert Girardet; novas formas de uso da energia, da água, da terra e das edificações, no livro *Regenerative Design for a Sustainable Development* de John Tillman Lyle. Em 1996 é realizada, na Turquia, a conferência da ONU Habitat II. Nela são discutidos os destinos das cidades e propostas para a sustentabilidade nos assentamentos humanos. Em 1999 o CIB (Conselho Internacional para a Pesquisa e Inovação em Construção) lança a Agenda Setorial para Construção Sustentável (CIB Agenda 21 for sustainable construction) em acordo com as metas do relatório Brundtland, Agenda 21 (1992), Habitat II e Protocolo de Kyoto. A agenda 21 estabelece um elo entre tecnologia e lugar, introduzindo diversos valores além da eficiência e de custo no processo de produção do ambiente construído (YUBA, 2005). Ainda em 1999, o USBCG (United States Green Building Council) cria o selo de certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). O programa traz incentivos financeiros e econômicos para o mercado de construções verdes do EUA.

Na primeira década do século 21, os esforços aumentaram para o fortalecimento dos órgãos avaliadores, as realizações sustentáveis na construção, e também para legislações mais eficientes e a adequação dos países, conforme sua produção e consumo mundiais. Em 2000, o CIB cria a Agenda Setorial para Construção Sustentável para países em desenvolvimento. É criado um grupo global para cooperação e trocas de pesquisas em construção sustentável. O objetivo da agenda é diminuir a diferença entre países desenvolvidos e em desenvolvimento no aperfeiçoamento do desempenho do ambiente construído. Em 2001 é finalizada uma obra de referência em construções sustentáveis, o BedZED (Beddington Zero Energy Development), na Inglaterra. É um condomínio de 100 casas e escritórios que consome 10% da energia de uma urbanização convencional, conforme a Figura 6.



Figura 6 – BedZed, Inglaterra.
Fonte: <http://bairronovolaguna.blogspot.com>

Em 2007 é criado o Green Building Council Brasil (GBCBrasil), que tem como objetivo ser referência na avaliação e certificação de construções sustentáveis no Brasil, através da regionalização da ferramenta de avaliação LEED. Ainda em 2007 é criado o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), cujo objetivo é incentivar conceitos e práticas sustentáveis na construção civil. O CBCS não pretende certificar edificações. Em 2008 é lançado o selo brasileiro de certificação ambiental AQUA (Alta Qualidade Ambiental), baseado na certificação francesa HQE (MOTTA, 2009).

A evolução dessas entidades e indicadores foi um grande progresso na discussão de sustentabilidade na construção, porém há necessidades de estudos mais determinantes, legislações efetivas e medidas práticas para impactar o setor como um todo e não apenas os empreendimentos construídos.

Há também indicações práticas pautadas em estudos e experiência do setor construtivo. O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) e a Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (AsBEA) apresentam algumas práticas para sustentabilidade na construção, sendo as principais (CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO -FIEMG, 2008):

- aproveitamento de condições naturais locais;
- utilização do mínimo de terreno e integrar-se ao ambiente natural;
- implantação e análise do entorno;
- não provocar ou reduzir impactos no entorno – paisagem, temperaturas e concentração de calor, sensação de bem-estar;

- qualidade ambiental interna e externa;
- gestão sustentável da implantação da obra;
- adaptar-se às necessidades atuais e futuras dos usuários;
- uso de matérias-primas que contribuam com a eco-eficiência do processo;
- redução do consumo energético;
- redução do consumo de água;
- reduzir, reutilizar, reciclar e dispor corretamente os resíduos sólidos;
- introduzir inovações tecnológicas sempre que possível e viável;
- educação ambiental: conscientização dos envolvidos no processo.

A grande dificuldade é integrar essas certificações e recomendações com uma avaliação consistente considerando o ciclo de vida do empreendimento, incluindo as fases construtivas e a desmontagem. Busca-se então uma metodologia que auxilie a aplicação da ACV em um empreendimento e estude todas as suas etapas e períodos. Entre elas, o planejamento, seleção de materiais, operações de construção, manejo de resíduos, instalações de armazenamento, utilização, ponderando a sustentabilidade, a cadeia de suprimentos e a reciclagem desde o estado preliminar até a sua desmobilização.

2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

O conhecimento sobre as diferenças nas fases de um produto ou serviço disponibiliza dados sobre seus componentes, materiais constituintes e processos transformadores. A partir da organização dessas informações é possível conhecer e avaliar o seu valor e seus impactos ao longo da cadeia produtiva a que pertence. De forma ampla, essa observação pode ter cunho pluridimensional e aplicabilidade para melhorias, como a conservação do meio-ambiente, já que os elos produtivos se originam na exploração do mesmo e finalizam na destinação do rejeito do processo.

Numa avaliação do Ciclo de vida considera-se também a avaliação social que tem como objetivo identificar os pontos positivos e negativos ao longo do ciclo de vida de um produto, no que se refere às questões da mão de obra envolvida e na contribuição, negativa ou positiva, que ele trará para a comunidade local, à sociedade civil e aos trabalhadores.

Conforme Ashby (2012), a ACV traça a evolução de um produto ou serviço, documentando os recursos consumidos e as emissões excretadas durante cada fase da vida. A saída é uma espécie de biografia, documentando aonde os materiais foram enviados, o que fizeram, e as consequências ocasionadas em seus arredores. Pode ser uma avaliação simplificada, ou pode ser uma ACV completa que examina todos os aspectos da vida (árduo e dispendioso em tempo e dinheiro), ou pode ser uma pintura de caráter esboço-breve, um retrato aproximado, ou ainda ser algo entre as duas perspectivas. Uma visão mais completa de vários elementos envolvidos numa ACV com materiais é mostrada na Figura 7.

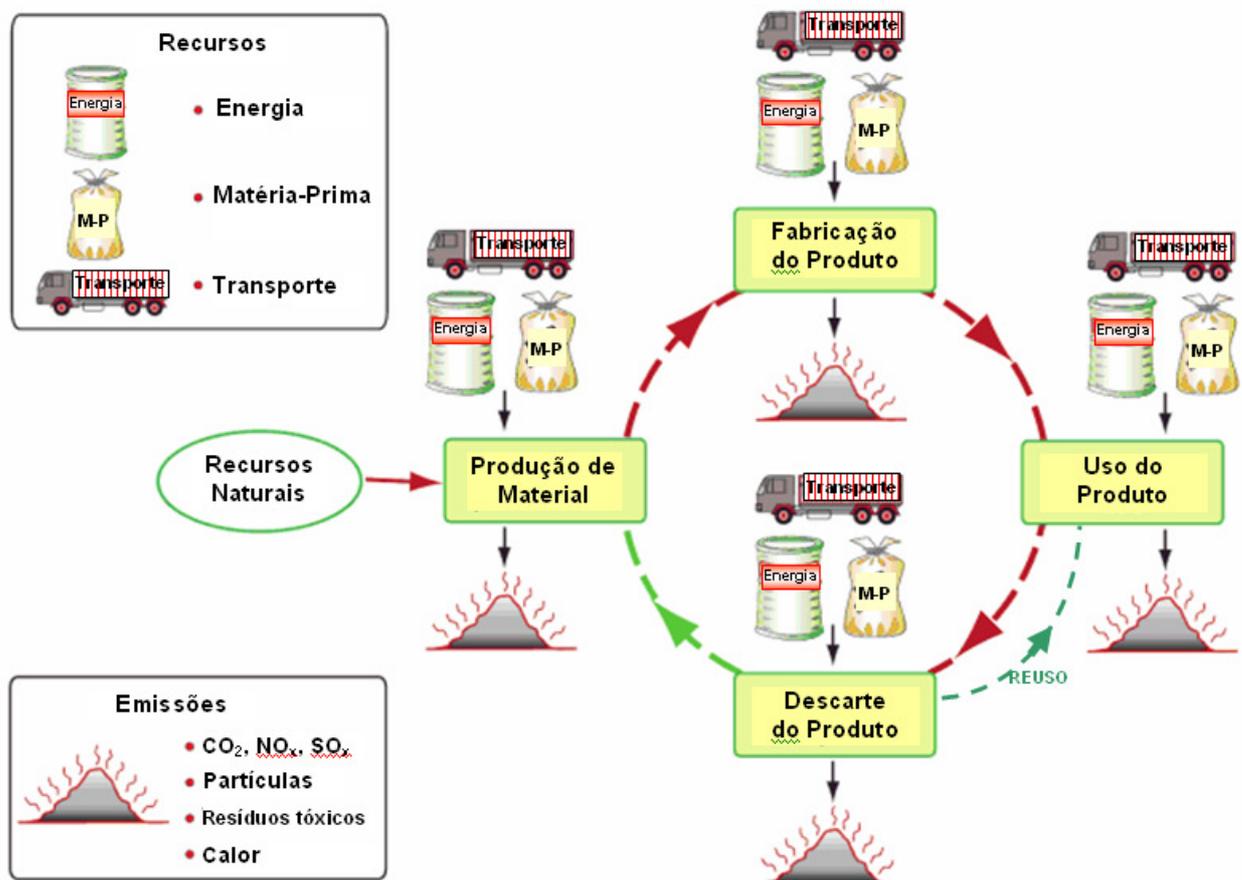


Figura 7 – Ciclo de vida de um material.
Fonte: Adaptado de ASHBY, 2009.

Os relatórios do IPCC (2007 e 2011) apontam, como o agente principal no cenário das mudanças climáticas, a concentração progressiva de CO₂ devido aos processos de extração, produtivos e consumo acelerado de bens, como automóveis que utilizam, em sua maioria, combustíveis fósseis. Contudo, para medir o consumo de recursos e verificar as emissões não bastam quantitativos individualizados, mas a perspectiva de custo por unidade no tempo relacionada em proporção com o impacto ambiental. Os estudos de ACV procuram estabelecer parâmetros para essa relação, orientando qual o melhor caminho a seguir e estimando ao mais próximo da realidade o grau de impactos que pode ser causado ou mesmo mitigado, preconizando o que se vem buscando ao longo dos anos, a sustentabilidade. No caso desse estudo chega-se a decisões conclusivas embasadas numa atividade construtiva sob os aspectos operacionais da ACV, garantindo um empreendimento sustentável que beneficie tanto as gerações presentes, quanto as gerações futuras, sem que haja afetação nociva à natureza, ao social e à econômica.

Para se descrever um processo é necessária a construção de uma planilha de balanços de massa e energia, calculando-se automaticamente a geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões gasosas. Por este motivo, alguns analistas referem-se ao trabalho como uma análise dos recursos e perfis ambientais, e com esta ferramenta pode-se avaliar e tomar decisões gerenciais de forma a contribuir para a melhoria e conservação do meio-ambiente (PRADO, 2007). A Figura 8 mostra em forma de processo como pode ser investigado o ciclo de vida de um produto e a identificação de suas fases com as respectivas nomenclaturas.

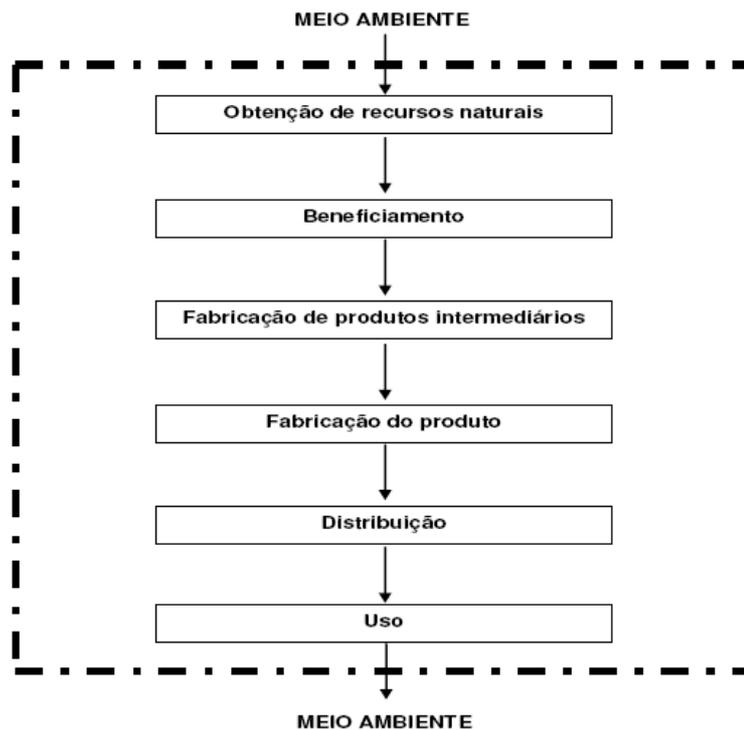


Figura 8 – Ciclo de vida de um produto ou serviço.
Fonte: PRADO, 2007.

Segundo Lima (2007), todo e qualquer produto tem uma “vida” que começa com o seu planejamento e, posterior extração dos recursos naturais que vão possibilitar a sua existência. A sua produção e o seu uso/consumo são as fases seguintes, e, finalmente, o produto passa pelas atividades do fim de sua “vida” (coleta/separação, reúso, reciclagem, disposição dos resíduos). A Figura 9 apresenta um esquema simplificado do conceito de ciclo de vida dos produtos com as possibilidades de reciclagem ou reúso do mesmo.

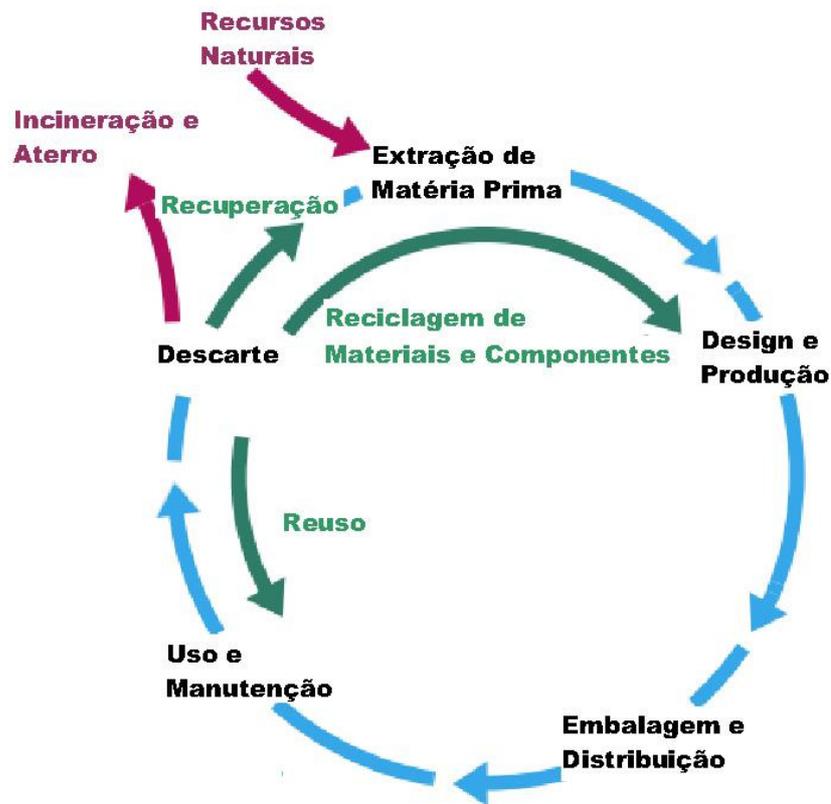


Figura 9 – Ciclo de vida de um produto.
Fonte: Adaptado de SONNEMANN, 2007.

A preocupação atual é responsabilizar e melhorar os processos que geram os produtos e que tenham um desempenho melhor em todas as fases do ciclo de vida, priorizando o consumo de recursos e a geração de emissões.

A fim de superar a preocupação crescente atual do esgotamento de recursos e para resolver questões ambientais em diferentes países, a avaliação do ciclo de vida, ou ACV (também conhecida mundialmente como Life Cycle Assessment - LCA), pode ser aplicada para a tomada de decisões a fim de manter a sustentabilidade na indústria da construção (ORTIZ, 2009). Essa indústria está crescendo em larga escala e produz bens de consumo (empreendimentos) com longa vida útil, em sua maioria. Como essa realidade faz parte da sociedade mundial, inclusive com os seus respectivos impactos ambientais, é necessária a reflexão sobre o ciclo de vida desse produto.

Durante as últimas décadas têm surgido muitas metodologias para promover a construção sustentável (Boonstra e Pettersen, 2003; Cole, 2005; CRISP, 2004; Ding, 2008; Haapio, 2008). Atualmente, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma

metodologia bem conhecida para avaliar os impactos ambientais ao longo de um sistema (RODRÍGUEZ, 2009). A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que avalia a carga ambiental dos processos e produtos (bens e serviços) durante o seu ciclo de vida, do berço à sepultura (Fava, 2004; Hauschild, 2005). A ACV foi padronizada pela International Organisation for Standardisation (ISO) na série ISO 14000. O objetivo desta revisão é analisar sistematicamente ACV sobre o setor da construção, a fim de analisar a situação atual e delinear os principais desafios dessa indústria.

ACV é útil para a tomada de decisões e para a seleção de indicadores ambientais relevantes na avaliação de projetos e processos, servindo como suporte em decisões de fabricação na indústria e no governo, como no planejamento estratégico (ANTON et al., 2003). A ACV ajuda as empresas a tornarem-se mais familiarizadas com as propriedades ambientais e melhorar o seu sistema de gestão ambiental para buscar a sustentabilidade em suas diretrizes organizacionais. Também é importante ressaltar a aquisição de um banco de dados para o processo de controle de produção e melhoria na perspectiva dos aspectos ambientais ligados aos processos produtivos de forma mais ampla.

Conforme Ndungu (2008), a origem da ACV começou nos últimos anos da década de 1960 e início da década de 70, quando uma empresa americana, fabricante de bebidas realizou estudos ambientais através da aplicação da perspectiva do ciclo de vida para estimar efeitos ambientais dos recipientes de bebidas que ela fabricava (GARCIA et al. 2005). Com o passar do tempo, a ACV foi usada para avaliar ambientalmente processos de produção e bens de consumo. Os estudos foram crescendo proporcionalmente à procura de empresas para utilização. Inicialmente foi criado um guia com as recomendações, porém, nos dias atuais, verifica-se a padronização através das normas ISO.

2.3.1 ACV e as normas ISO

A *International Organisation for Standardisation* (ISO) iniciou no ano de 1993 a elaboração das normas para a gestão ambiental de aceitação internacional (ISO, 2009). Como resultado deste trabalho, foi publicada a série de normas ISO 14000, da qual fazem parte os requisitos da ACV (série ISO 14040).

A técnica de ACV tem sua estrutura normatizada pela série ISO 14040. Até o ano de 2006, a série era composta principalmente pelas normas ISO 14040, que tratava dos princípios gerais e das diretrizes; ISO 14041, direcionada para as fases de definição do objetivo e escopo e análise de inventário do ciclo de vida; ISO 14042 relativa à etapa de avaliação de impactos ambientais; ISO 14043, voltada para a interpretação do ciclo de vida. No Brasil, essas normas foram editadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Apenas no plano internacional existiam ainda os relatórios técnicos ISO/TR (ISO/Technical Report) 14047, referente a exemplos de aplicação da ISO 14042; o ISO/TS (ISO/Technical Specification) 14048, abordando aspectos de formato de apresentação dos dados; e o ISO/TR 14049, o qual fornecia exemplos de aplicação relativos à definição de objetivos e análise de inventário (ISO, 2009).

Desta forma, até 2006, existiam as seguintes normas de Gestão Ambiental em Avaliação do Ciclo de Vida, conforme listadas por seus títulos:

ISO 14040. Life Cycle Assessment. Principles and Framework. (1997). Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estrutura.

ISO 14041. Life Cycle Assessment. Goal and Scope Definition and Inventory Analysis. Avaliação do Ciclo de Vida - Definição do Objetivo e do Escopo e Análise de Inventário.

ISO 14042. Life Cycle Assessment. Life Cycle Impact Assessment. (2000). Avaliação do Ciclo de Vida - Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida.

ISO 14043. Life Cycle Assessment. Life Cycle Interpretation. (2000). Avaliação do Ciclo de Vida - Interpretação do Ciclo de Vida.

ISO/TR 14047. Life Cycle Impact Assessment. Examples of Application of SO 14042. (2000). Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida - Exemplos de Aplicação da ISO 14042.

ISO/TS 14048. Life Cycle Assessment. Data Documentation Format. (2001). Avaliação do Ciclo de Vida - Formato de dados e documentação.

ISO/TR 14049. Life Cycle Assessment. Examples of Application of SO 14041 for goal and scope definition and inventory analysis. Avaliação do Ciclo de Vida - Exemplos de Aplicação da ISO 14041 para definição do objetivo e do escopo e análise de inventário.

Segundo FINKBEINER et al. (2006), a partir de 2006, as normas de ISO 14040, ISO 14041, ISO 14042 e ISO 14043 foram compiladas nas normas ISO 14040 (2006) e 14044 (2006) por um grupo de trabalho com mais de cinquenta especialistas internacionais, com o intuito de aperfeiçoar as normas; padronizar termos técnicos; correção de erros e inconsistências e manter a ISO 14040 como um documento modelo para os estudos de ACV. Em síntese, são estas as normas de Gestão Ambiental em Avaliação do Ciclo de Vida em vigor:

ISO 14040. Life Cycle Assessment. Principles and Framework. (2006). Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estrutura.

ISO 14044. Life Cycle Assessment. Requirements and Guidelines. (2006). Avaliação do Ciclo de Vida - Requisitos e Orientações.

Posteriormente, no ano de 2009, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou as versões em português das referidas normas.

É importante ressaltar que as normas ISO/TR 14047, ISO/TS 14048 e ISO/TR 14049 ainda se encontram em vigor.

2.3.2 ACV no Brasil

SILVA et al (2006) relata que a primeira atividade relacionada à Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) no Brasil se deu em 1994, com a criação do Grupo de Apoio à Normalização (GAN) junto à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), para viabilizar a colaboração do Brasil no comitê técnico TC 207 da ISO, criado um ano antes. A criação do grupo GANA incluiu o subcomitê de ACV SC 05. Conforme Ribeiro (2009), com base nos trabalhos do referido comitê técnico no ano de 1998, foi publicado o primeiro livro brasileiro sobre ACV intitulado “Análise do Ciclo de Vida de Produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000” de José Ribamar Chehebe (CHEHEBE, 1998).

Segundo Zapparoli (2011), no Brasil, as primeiras pesquisas e aplicações de ACV começaram nos anos 2000 e foi se consolidando como um tema de estudo ao longo da década. Tendo em vista a importância e o crescimento rápido da ACV, foi criada em 29 de novembro de 2002, na cidade do Rio de Janeiro, a Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV) para divulgar e desenvolver o uso da técnica da ACV no país. A ABCV tem como entidades fundadoras: empresas; órgãos de classe; universidades; instituições do governo; entidades de pesquisas e ONGs (RIBEIRO, 2009). Nesse contexto, dois aspectos são prioridades para a ABCV:

- a) promover a consolidação de uma metodologia para a ACV, compatível com a realidade brasileira; e
- b) executar a construção de um banco de dados brasileiro para apoiar estudos da técnica, garantindo análises precisas à realidade do país.

Dada importância do assunto, ocorreram várias iniciativas e estudos aprofundados estão sendo realizados para consolidar essa importante ferramenta de gestão ambiental. Dentre os eventos que aconteceram ao longo dos últimos dez anos no Brasil sobre ACV, destacam-se dois. O primeiro evento ocorreu em fevereiro de 2007, na cidade de São Paulo, a “Conferência Internacional de Avaliação de Ciclo de Vida – CILCA 2007” que objetivou facilitar a troca de experiências e conhecimentos e consolidar o conceito de ciclo de vida e o gerenciamento do ciclo de vida na América Latina, integrando essa região com outras onde a técnica da ACV está mais avançada. E o segundo evento foi o “Primeiro Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida – I CBGCV”, que ocorreu ao final do mês de outubro de 2008, na cidade de Curitiba (PR). Este evento visava propiciar um ambiente para o intercâmbio de conhecimento, voltado para a integração de conceitos, métodos e técnicas para incluir os aspectos ambiental, econômico e sócio-cultural no ciclo de vida de produtos, processos e serviços, entre pesquisadores, representantes de instituições públicas e de diversos segmentos industriais (RIBEIRO, 2009).

Atualmente há muitas investigações em torno de aplicação de ACV, assim como a criação do inventário brasileiro, dadas as características peculiares do Brasil, considerando a extensão do seu território e seus recursos naturais. Entre muitas

iniciativas, destacam-se: o Projeto Brasileiro de Inventário de Ciclo de Vida (ICV), desenvolvido pelo Inmetro, Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), Universidade de Brasília (UnB), Universidade de São Paulo (USP), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPr), Universidade Federal da Bahia (UFBa) e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); o Programa Brasileiro de Ciclo de Vida estabelecido pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro); e o Projeto do Centro Regional (América Latina) de Ciclo de Vida, que busca facilitar o intercâmbio de informações em ACV e facilitar o desenvolvimento de ICVs regionalizados.

O Brasil ainda necessita mais investimentos pesados direcionados para esse tema, pois há muitas questões pertinentes a ACV devido a extensão do seu território e seus diversos recursos naturais nas diferentes regiões do país. Dadas as suas dimensões continentais, o país possui diferenças em relação aos materiais disponíveis, mão-de-obra, processos produtivos, sistema extrativista, transporte, clima, entre outros.

Em vista da importância do tema e sua relevância atual, propôs-se uma pesquisa nacional sobre a produção acadêmica de ACV em cinco bancos de dados, a saber: banco de teses da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, 2011); banco de dados bibliográficos da Universidade de São Paulo (DEDALUS, 2011); biblioteca digital de teses e dissertações da Universidade de São Paulo (SABER, 2011); banco de dados do IBICT (2012); e as bases multidisciplinares Web of Science e Engineering Village (2012) que foram acessadas na Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, Espanha. Os trabalhos foram selecionados a partir da citação do termo ACV em temas ou resumos. A Tabela 1 apresenta as quantidades de dissertações e teses produzidos no país e artigos brasileiros com publicação internacional.

Tabela 1. – Dissertações, teses e artigos (publicação internacional) sobre ACV publicados no Brasil.

| Ano | Dissertações | Teses | Artigos Publicação | Total de Trabalhos |
|--------------|---------------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 2001 | 03 | 02 | 01 | 06 |
| 2002 | 07 | 01 | 03 | 11 |
| 2003 | 11 | 05 | 02 | 18 |
| 2004 | 16 | 05 | 08 | 29 |
| 2005 | 10 | 03 | 10 | 23 |
| 2006 | 09 | 02 | 08 | 19 |
| 2007 | 25 | 04 | 09 | 38 |
| 2008 | 12 | 05 | 12 | 29 |
| 2009 | 10 | 03 | 12 | 25 |
| 2010 | 18 | 03 | 24 | 45 |
| 2011 | 19 | 06 | 13 | 38 |
| Total | 140 | 39 | 102 | 281 |

Fonte: Dedalus, Saber, IBICT, Web of Science e Engineering Village .

Através desse levantamento verificou-se que os trabalhos acadêmicos brasileiros contemplam diversos segmentos, tais como: químico, petroquímico, construção civil, energético, automobilístico, agrícola, metalúrgico e eletrônico. Com a criação de entidades e publicação das normas, observa-se uma maior produção nos últimos anos e trabalhos para a consolidação do banco de dados brasileiro.

2.3.3 A metodologia de ACV

A avaliação do ciclo de vida analisa todas as fases de um produto, assim como o termo pelo qual é conhecida: do berço ao túmulo (*from cradle to grave*). O

estudo e análise em cada fase examinam os fluxos de entrada de energia, água e materiais e também os seus respectivos fluxos de saída de emissões e resíduos.

A ISO 14040 (2006) define a ACV como uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante:

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

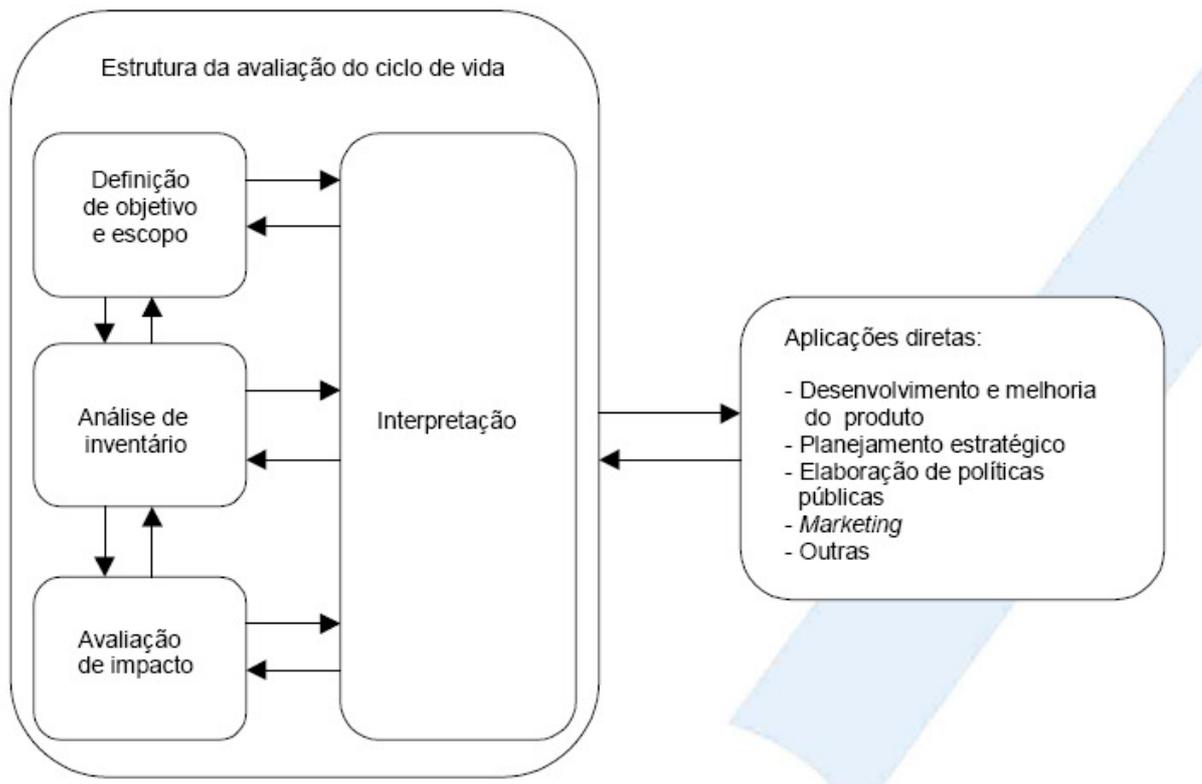


Figura 10 - Fases da ACV
Fonte: ISO 14040 (2006)

De acordo com a norma (ISO 14040, 2006) a ACV é realizada em quatro etapas: definição de objetivo e escopo; análise do inventário; avaliação de impactos; e interpretação. Essas etapas devem ser desenvolvidas de forma interativa, ou seja,

a cada etapa os parâmetros da primeira etapa (definição de objetivo e escopo) devem ser revistos e redefinidos (Lima, 2006).

2.3.3.1 Definição de objetivo e escopo

Conforme a norma (ISO 14040, 2006) a etapa de definição de objetivo e escopo enuncia a finalidade e as condições de contorno. É uma etapa crucial para a resolução do problema. Por conseguinte devem-se delimitar com precisão o objetivo do estudo, as fronteiras do sistema e entidade de referência, também chamada de unidade funcional. O objetivo e o escopo devem ser claramente definidos e compatíveis com a aplicação (ISO 14044, 2006).

Durante o processo de definição dos objetivos de uma ACV, devem ser avaliados fatores como as expectativas quanto às conclusões do estudo, assim como, os custos e o tempo de duração envolvidos no mesmo (RIBEIRO, 2009). Consideram-se também as motivações do estudo e se os resultados serão utilizados de forma comparativa.

O escopo deve delinear todos os meios para que o objetivo seja alcançado. Os fatores da definição do escopo devem ser descritos claramente como a identificação do sistema do produto considerado, as funções consideradas do sistema, as fronteiras do sistema e por consequência a definição da unidade funcional, especificação do inventário e os impactos, dados, pressupostos, limitações, qualidade dos dados, tipo de análise crítica (se houver) e o tipo e formato de relatório requerido para o estudo. Em alguns casos, o objetivo e o escopo do estudo podem ser revistos devido a limitações imprevistas, restrições ou como um resultado de informação adicional (ISO 14044, 2006).

Um dos principais fins de uma unidade funcional é o de proporcionar uma referência a que os dados de entrada e de saída são normalizados (em um sentido matemático). Portanto, a unidade funcional deve ser claramente definida e mensurável.

Na perspectiva de um ambiente construído, a unidade funcional pode ser definida como toda a construção, um edifício, uma área de trabalho, um componente, a energia consumida ou mesmo um material. Esta definição tem

grande repercussão nos resultados e, uma vez que a ACV deve buscar uma análise abrangente, é recomendável que a unidade funcional também tenha o mesmo grau de abrangência (MOTTA, 2009).

A fronteira do sistema determina quais os processos unitários serão incluídos dentro da ACV. A seleção da fronteira do sistema deve ser consistente com o objetivo do estudo. Os critérios utilizados na definição da fronteira do sistema devem ser identificados e explicados (ISO 14044, 2006).

As fronteiras devem especificar sobre quais etapas do ciclo de vida será realizada a análise. Do berço (extração de matérias-primas), até o túmulo (eliminação do produto), passando pela produção, distribuição, utilização, reparação eventual, ou seja, a produção, a utilização e a eliminação. As etapas podem ser consideradas em parte ou no ciclo completo (PEREIRA, 2004). A Figura 11 mostra um modelo sugerido por Dyllick et al. (2000) para as entradas e saídas:

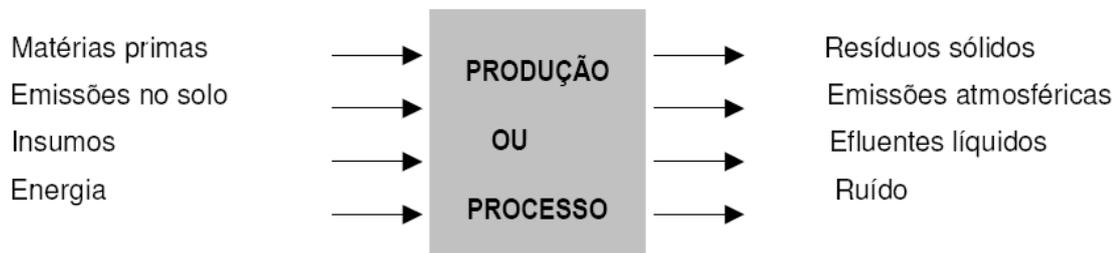


Figura 11 – Modelo para captação de entradas e saídas.
Fonte: DYLLICK et al, 2000.

Ainda segundo a norma (ISO 14044, 2006), os critérios de corte para a inclusão inicial de entradas e saídas e os pressupostos em que esses critérios são estabelecidos devem ser claramente descritos. Vários critérios de corte são utilizados em ACV na prática para decidir quais as entradas deverão ser incluídas na avaliação, como significando massa, energia e meio ambiente. Similares critérios de corte podem também ser utilizados para identificar quais saídas devem ser rastreados para o ambiente, por exemplo, os processos de tratamento de resíduos finais.

A qualidade dos dados deve ser caracterizada por ambos os aspectos, quantitativos e qualitativos, bem como pelos métodos usados para coletar e integrar esses dados. Os dados de locais específicos ou médias representativas devem ser

utilizados para os processos de unidade que contribuem com a maioria dos fluxos de massa e energia nos sistemas em estudo, conforme determinado em uma análise de sensibilidade (ISO 14044, 2006).

Também devem ser determinadas quais as categorias de impacto, indicadores e modelos de caracterização dentro do estudo da ACV. A categoria de impacto é a classe que representa as questões ambientais relevantes às quais os resultados da análise do inventário podem ser associados. Devem ser quantificáveis e possíveis ao sistema.

As limitações de uma ACV devem ser previstas e revisadas ao término do estudo, com uma análise prática, com as justificativas do sistema envolvido. A caracterização da limitação orienta possíveis trabalhos futuros sobre a disponibilidade dos dados, o inventário e os possíveis impactos.

2.3.3.2 Análise de inventário do ciclo de vida

Conforme a norma (ISO 14044, 2006), a definição do objetivo e escopo de um estudo fornece o plano inicial para a realização da próxima etapa da ACV, a análise do inventário do ciclo de vida (ICV) ou também chamada de balanço de massa-energia.

A segunda etapa identifica e quantifica os fluxos das entradas ambientais e saídas associados ao produto, serviço ou processo ao longo de todo o seu ciclo de vida. Segundo Motta (2009), estes fluxos devem ser balanceados, considerando-se os impactos ambientais a serem avaliados. As descrições destes fluxos permitem colocar em evidência certos fatores de alterações ambientais, como por exemplo, o consumo de recursos naturais (matérias-primas e energia), os resíduos (sólidos, líquidos e gasosos) e outras emissões. Deste modo é feita a mensuração quantitativa do impacto do sistema (fatores de impacto).

A análise do inventário inclui a coleta e o tratamento dos dados utilizados na elaboração de um perfil do consumo de recursos e de energia, do desperdício e das emissões em todas as fases do ciclo de vida.

É relevante verificar que a formação do inventário é interativa e, considerando que o conhecimento sobre o sistema aumenta conforme se obtém dados, deve-se frequentemente analisar as definições de objetivo e escopo (RIBEIRO, 2009).

A norma ISO 14044 especifica procedimentos para construção do inventário (Figura 12).

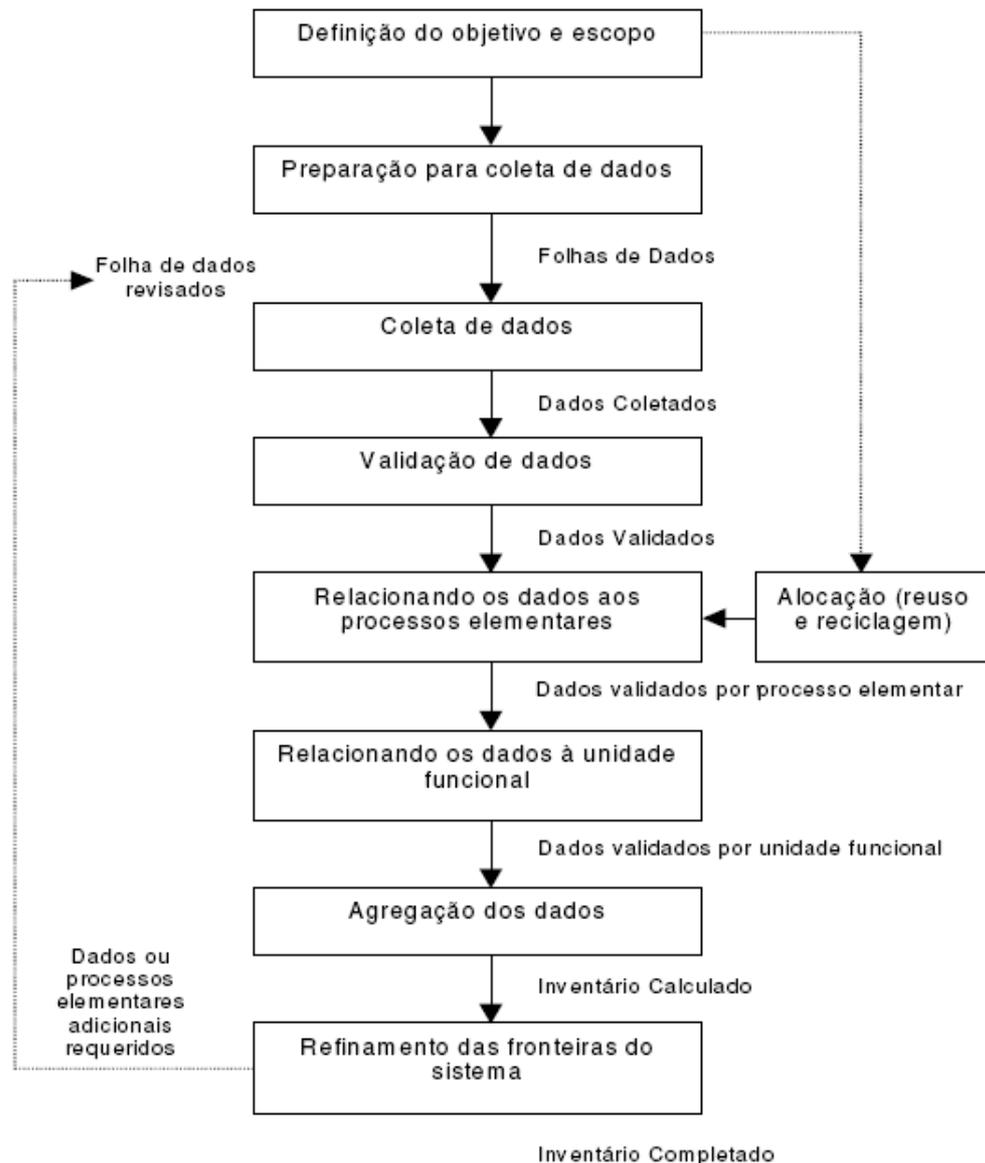


Figura 12 – Procedimentos simplificados para a etapa de análise do inventário (adaptação da ISO 14044).

Fonte: RIBEIRO, 2009.

Os dados qualitativos e quantitativos para a inclusão no inventário devem ser coletados para cada unidade do processo que está incluído dentro do limite do

sistema. Os dados coletados, se medido, calculado ou estimado, são utilizados para quantificar as entradas e saídas de um processo de unidade (ISO 14044, 2006).

Conforme Ribeiro (2009), a coleta de dados é a tarefa que mais apresenta dificuldades para o estudo, devido ao elevado consumo de tempo e custo necessários para obtenção das informações. Ainda há uma possível indisponibilidade de fontes de informações específicas e confiáveis. No Brasil, o banco de dados ainda está em etapas iniciais e se tratando de construção, há poucos e restritos dados regionais ainda em verificação e normalização.

É importante ressaltar que como o ICV é um processo iterativo, ao longo do qual se vai progressivamente obtendo maior conhecimento sobre o objeto da análise. Dessa forma, a norma recomenda uma revisão das metas a serem alcançadas e que as fronteiras do sistema sejam revistas, identificando necessidades de novos refinamentos e dados adicionais (ISO 14044, 2006).

Ainda segundo a norma (ISO 14044, 2006), as análises de sensibilidade devem ser realizadas quando necessário. Essas análises visam aferir a ACV com decisões em relação aos dados e algumas possibilidades como: a exclusão de aspectos ambientais ou de processos elementares que não sejam significantes; e a inclusão de aspectos ambientais ou de novos processos elementares que sejam julgados relevantes. O resultado obtido com o refinamento das fronteiras do sistema deve ser justificado e documentado.

2.3.3.3 Avaliação de impactos do ciclo de vida

A avaliação de impactos do ciclo de vida (AICV) tem como propósito a avaliação dos impactos identificados e quantificados no inventário para fornecer subsídios para a próxima etapa que é a interpretação (ISO 14040, 2006).

A terceira etapa, a fase de avaliação de impacto, caracteriza os potenciais impactos ambientais de o inventário de emissões e resíduos (fluxos) identificados na fase de inventário.

Apesar da ISO 14040 (2006) ainda não apresentar formalmente uma estrutura metodológica e científica para essa etapa, há elementos obrigatórios e opcionais na recomendação de análise (ISO 14044, 2006).

Entre os elementos obrigatórios estão:

- seleção das categorias de impacto, indicadores de categorias e modelos;
- classificação (verificar onde os impactos são mais relevantes);
- caracterização (cálculo dos resultados).

Entre os elementos opcionais estão:

- normalização (considera fatores de equivalência);
- agrupamento (classificação e, possivelmente, ranking das categorias de impacto);
- valoração (ou ponderação) com uma escala de importância.

As categorias de impacto são as representações das questões ambientais de interesse para que os resultados da avaliação do ciclo de vida do inventário possam ser atribuídos. Essas categorias são descritas na norma ISO (ISO / TR 14047, 2001).

Conforme SILVA et al (2006), as categorias de impacto usualmente selecionadas são as seguintes: aquecimento global (também conhecido por efeito estufa, é provocado pelo acúmulo de gases na atmosfera, que retêm parte da radiação solar); acidificação (aumento do teor de acidez do solo, do ar ou da água); eutrofização (provocada pelo acúmulo dos nutrientes nitrogênio e fósforo nos corpos d'água e nos solos); toxicidade (resultante da disposição de rejeitos tóxicos no meio ambiente); consumo de recursos naturais (materiais e energéticos); redução da camada de ozônio (redução da quantidade de ozônio presente na estratosfera); e formação fotoquímica de ozônio (formação de ozônio nas camadas baixas da atmosfera).

A seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização deve ser justificada e consistente com o objetivo e escopo da ACV. A seleção de categorias de impacto deve refletir um conjunto abrangente de questões ambientais relacionadas com o sistema do produto a ser estudado, tendo o objetivo e escopo em consideração (ISO 14044, 2006).

A etapa de avaliação de impactos (AICV) visa expressar as informações obtidas na fase de inventário do ciclo de vida (ICV) em categorias de impactos e em estimar valores. Desta forma há necessidade de metodologias para quantificar e qualificar esses impactos, obtendo assim resultados para uma interpretação.

Os pesquisadores ainda não convergem sobre o conceito de valia dos impactos fundamentada em uma metodologia única. Dessa forma, encontram-se nos estudos da área muitos métodos de AICV originados em vários países e seus respectivos bancos de dados (acervos). As versões mais atuais são mais precisas e abrangentes, buscando traduzir de forma mais sólida os impactos ambientais.

Em uma avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV), existem basicamente duas classificações para os métodos: problema-orientado (mid-points) e dano-orientado (end points) (PROCTER AND GAMBLE, 2005). Dentro de cada método existem ferramentas direcionadas para aplicação que servem de base para o desenvolvimento de aplicativos (software).

Como mostra a Figura 13, a cadeia de impactos descreve o mecanismo ambiental das trocas (entre o sistema e o meio) até os danos em itens de valor (árvores, animais, saúde humana,...).



Figura 13 – Cadeia de impactos causada pela emissão de certa substância.
Fonte: ORTIZ et al, 2009.

Em suma, quando os métodos não consideram as consequências ambientais (dano real), estes são classificados de midpoint ou ponto médio, e quando

consideram são classificados de endpoint ou ponto final. A Tabela 2 apresenta algumas categorias classificadas como ponto médio ou ponto final.

Tabela 2. – Categorias de impacto ambiental quanto ao método.

| CATEGORIAS DE IMPACTO AMBIENTAL | |
|--|--------------------------|
| Ponto Médio | Ponto Final |
| Mudança climática | Qualidade do ecossistema |
| Acidificação | Saúde humana |
| Eutrofização | Uso de Recursos |
| Destruição da camada de ozônio | |
| Ecotoxicidade | |
| Uso do Solo | |

Fonte: MOTTA, 2009.

Nas abordagens de problema-orientado ou ponto médio (mid-point), os fluxos são classificados em temas ambientais de impactos potenciais. Temas abordados na maioria dos estudos das avaliações do ciclo de vida (ACV): efeito estufa (ou as alterações climáticas), esgotamento dos recursos naturais, destruição do ozônio estratosférico, acidificação, criação fotoquímica de ozono, eutrofização, toxicidade humana. Os impactos podem ser avaliados por metodologias específicas de AICV, como o CML (2001), EDIP 97 & EDIP 2003 e IMPACT 2002 +. Já nos tratamentos de dano-orientado ou ponto final (end point), as abordagens classificam os fluxos ambientais em vários temas, ou seja, a modelagem de cada tema do dano causado ao ser humano, ao meio-ambiente e recursos. Ecoindicator 99 e IMPACT 2002 + são os métodos utilizados no dano orientado. A Figura 14 apresenta as múltiplas relações das emissões com os efeitos nos seres humanos segundo a avaliação de impacto de uma ACV (GERVÁSIO, 2007).

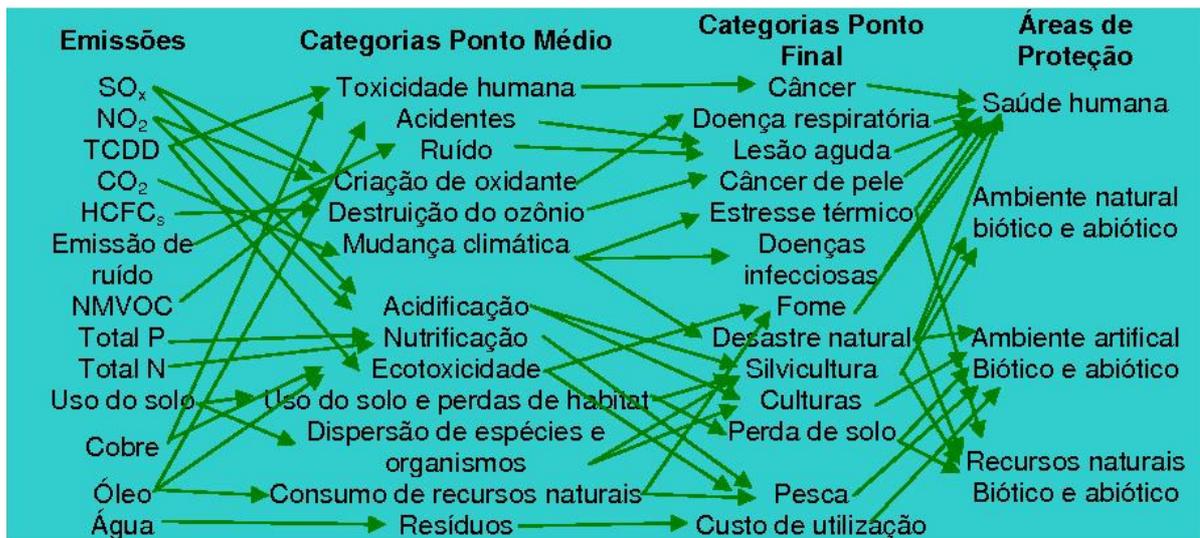


Figura 14 – Relações das emissões com os efeitos nos seres humanos.

Fonte: Adaptado de GERVÁSIO, 2007.

Quando as categorias não consideram as conseqüências ambientais são classificadas de midpoint ou ponto médio, e quando consideram são classificadas de endpoint ou ponto final. As categorias de midpoint possuem características específicas, químicas e físicas, já as categorias endpoint são mais abstratas em relação ao alcance dos impactos.

As metodologias existentes diferem no que diz respeito: a região considerada; ao nível de caracterização na cadeia de causa-efeito; às categoriais de impacto consideradas e aos modelos de caracterização; aos métodos e fatores de normalização e de ponderação.

Há na literatura uma gama de diferentes métodos e seus diversos critérios para os problemas encontrados. Conforme Melo et al (2008) todas as metodologias são baseadas nas recomendações da norma ISO 14044 e nas publicações da SETAC. A diferença destes métodos está, basicamente, na forma como se determina os pesos para cada critério. Muitos destes métodos objetivam dar suporte a um único tomador de decisão, demonstrando uma limitação para o trabalho em conjunto de um grupo (PEREIRA, 2004).

Através da pesquisa na literatura internacional, foram identificados diversos métodos de AICV e esse estudo cita os mais reconhecidos da área. Os métodos desenvolvidos nos países da Europa é a mais avançada, em que existem várias proposições de modelos de avaliação, considerando as especificidades geográficas,

como: Eco-indicador 99, CML, IMPACT 2002+ e EDIP, que são os mais usados em aplicativos. Contudo, há outros no mercado reconhecidos como: nos Estados Unidos (TRACI), Canadá (LUCAS), Japão (LIME e JEPIX), entre outros.

No Brasil, o método mid-point mais usado é o CML e o de end-point é o Eco-indicador 99. A justificativa da utilização desses métodos está fundamentada em dois aspectos. O primeiro aspecto é a abrangência das categorias de impactos que os dois métodos possuem que estão em conformidade com as características do meio-ambiente no Brasil. O segundo aspecto são as atribuições de pesos e notas no cálculo dos métodos, baseadas em índices mundiais e não particularizadas no país de origem onde o método foi criado.

Para compreensão da escolha dos métodos, a Tabela 3 destaca os diferentes tipos de Eco-indicadores (Ecoindicador 99, CML 2000, EDIP, TRACI) e suas principais considerações (UGAYA, 2001):

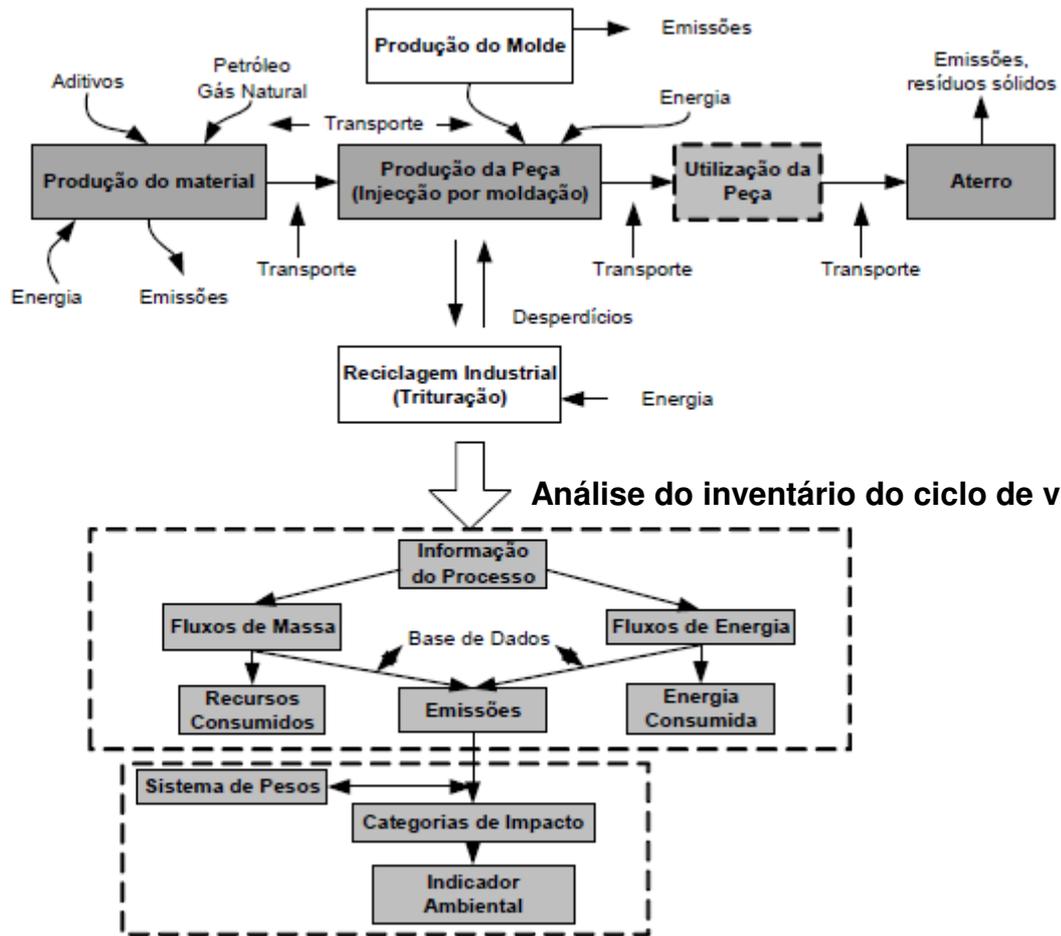
Tabela 3. – Diferentes tipos de Eco-indicadores e suas considerações.

| Categorias de Impacto | Ecoindicador 99 | CML 2000 | EDIP | TRACI |
|--------------------------------|-----------------|----------|------|-------|
| Mudança Climática | x | x | x | x |
| Destruição da camada de ozônio | x | x | x | x |
| Acidificação | x | x | x | x |
| Eutrofização | x | x | x | x |
| Ecotoxicidade | x | | | x |
| Ecotoxicidade águas doces | | x | x | |
| Ecotoxicidade marinha | | x | x | |
| Ecotoxicidade terrestre | | x | x | |
| Toxicidade humana | | x | x | |
| Cancerígenos | x | | | x |
| Não cancerígenos | | | | x |
| Respirações orgânicos | x | | | |
| Respirações inorgânicos | x | | | |
| Uso do solo | x | | | |
| Minerais | x | | | |
| Combustíveis fósseis | x | | | |
| Exaustão abiótica | | x | | |
| Uso de recursos | | | x | |
| Smog fotoquímico | | | x | x |
| Água doce | | x | | |
| Água marinha | | x | | |
| Radiação | x | | | |
| Resíduos sólidos | | | x | |
| Resíduos perigosos | | | x | |
| Resíduos radioativos | | | x | |
| Escória / cinzas | | | x | |

Fonte: UGAYA, 2001.

Em síntese, a técnica usada na ACV é a modelagem de um ciclo. Na fase da análise do inventário dos fluxos, o modelo é desenvolvido a partir dos processos

usados para produzir, usar e desmantelar um produto. Para cada processo, são recolhidas todas as emissões e consumos de recursos durante o ciclo de vida do produto. Os resultados deste inventário são listas de emissões, recursos consumidos e impactos. Como estas listas são geralmente muito longas e de difícil interpretação, para quantificar ambientalmente esses fluxos, foi desenvolvido um modelo simplificado. Neste modelo os fluxos são transpostos para um mecanismo ambiental, resultando em impactos em várias categorias, como o efeito de estufa, a acidificação, etc. Com as categorias geradas, são usadas técnicas adicionais de normalização e atribuição de pesos para analisar o estudo sob a forma de indicadores nas categorias de impactos. A forma como são atribuídos pesos às categorias pode ser discutível, pelo que se efetua a normalização do indicador dividindo-o por um valor de referência. Geralmente, este valor é o total dado a cada categoria. A atribuição dos pesos envolve um ranking e uma possível agregação dos resultados dos indicadores pelas categorias, resultando assim uma pontuação final, conforme a Figura 15.



Avaliação de impactos do ciclo de vida

Figura 15 – Modelo de uma Avaliação do ciclo de vida.
Fonte: Adaptado de INÁCIO, 2009.

A atribuição de pesos é feita conforme as diretrizes da IMPLEMENTATION OF LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT METHODS, responsável pela normatização.

Para esclarecer características dos principais métodos, segue uma breve descrição dos métodos mais usados e reconhecidos internacionalmente (IMPLEMENTATION OF LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT METHODS, 2010).

1. **CML:** em 2001 CML (Centro de Ciência Ambiental da Universidade de Leiden), publicou um guia operacional com os padrões ISO. Este guia descreve o procedimento a ser aplicado para a realização de um projeto ACV de acordo com os padrões ISO. É um exemplo da abordagem “mid-point”. Para a etapa de avaliação do impacto da ACV

foi criado um conjunto de categorias de impacto e os métodos de caracterização e fatores de risco para uma extensa lista de substâncias (recursos da natureza/emissões para a natureza) que são recomendados.

2. **Eco-indicador 99**: em 1999 foi publicado, o novo método de "Eco-indicador 99" para a avaliação do ciclo de vida. A fim de implementar este método no ecoinvent (inventário do ciclo de vida) é necessário atribuir os fatores de danos aos fluxos elementares de recursos e poluentes reportados no banco de dados. Exemplo de abordagem "end-point". O método Eco-indicador 99 atribui uma "nota" a cada impacto, permitindo a comparação dos vários tipos de impactos e oferecendo uma perspectiva sobre as maneiras de procurar superá-los. No entanto, o exercício não é simples: baseando-se em pesquisas científicas, para cada impacto é atribuído um peso específico.
3. **EPS (Environmental Priority Strategy)**: foi lançado na Suécia em 1993 e usa a abordagem "end-point". É um método que descreve os impactos (mudanças) para o ambiente (atual, global) como impactos a assuntos específicos de salvaguardas: biodiversidade, produção, saúde humana, recursos e valores estéticos. Esses impactos são avaliados com uma escala em Unidades de Carga Ambiental (ELU) de acordo com a disposição (WTP). Recursos materiais são avaliados pelo WTP para processos alternativos renováveis para produzir serviços comparáveis. Um ELU corresponde a um euro. EPS foi concebido como uma ferramenta para o produto desenvolvimento dentro das empresas. A utilização para outros fins requer o conhecimento de suas características e limitações.
4. **EDIP (Environmental Design for Industrial Products)**: é um método desenvolvido na Dinamarca e lançado em 1997. Um exemplo da metodologia "mid-point", abrangendo a maioria dos impactos relacionados a emissões, uso de recursos e impactos no ambiente de trabalho.

5. **IMPACT 2002+**: lançado na Suíça em 2002. A metodologia propõe uma implementação viável de uma abordagem combinada “mid-point”/“end-point”, ligando todos os tipos de resultados do inventário do ciclo de vida (fluxos elementares e outras intervenções) tendo como base os métodos CML e Eco-indicador. Este método foi implementado no banco de dados suíço de ACV denominado Ecoinvent.
6. **Ecopoints** (Swiss Ecoscarcity): foi lançado na Suíça em 1990 e tem abordagem “mid-point”. Usa eco-fatores que são calculados a partir da razão entre o nível total atual de emissão ou deposição de substâncias e a carga crítica dessa substância. Os eco-fatores são específicos de cada região.

2.3.3.4 Interpretação

Por fim, etapa quatro, a análise dos melhoramentos, avalia as necessidades e oportunidades para reduzir os impactos sobre o meio ambiente associados ao ciclo de vida do produto, em conformidade com os objetivos do estudo de ACV.

O objetivo dessa fase é sintetizar e discutir os resultados do estudo, com o intuito de obter possíveis causas para formar conclusões e recomendações pertinentes aos objetivos e questionamentos propostos (ISO 14043, 2000).

Segundo a ISO 14044 (2006), há três elementos básicos na interpretação: a identificação dos temas de relevância, avaliações (confiabilidade dos resultados), conclusões, limitações e recomendações.

Após a finalização de todas as fases, recomenda-se a construção de um relatório com os dados, métodos, resultados e limitações. Surge como opcional, uma revisão crítica realizada por um especialista interno ou externo para verificar se o estudo de ACV satisfaz os requisitos da norma e os objetivos propostos.

Ainda segundo a ISO 14040 (2006), a avaliação do ciclo de vida pode ajudar no reconhecimento de impactos da produção e vantagens competitivas como a identificação de oportunidades para melhorar os aspectos ambientais dos produtos em vários pontos de seu ciclo de vida, na tomada de decisões na indústria,

organizações governamentais ou não-governamentais, na seleção de indicadores pertinentes de desempenho ambiental, incluindo técnicas de medição e no marketing ambiental.

Na ACV atual, têm-se considerado os fatores econômicos das produções, numa metodologia que se chama LCC (Life Cycle Cost) ou custo do ciclo de vida. O custo é considerado desde a produção até o necessário para manutenção, descarte ou possível reciclagem. Em países em desenvolvimento, este tipo de análise é de extrema importância considerando que os materiais e componentes devem ser economicamente acessíveis à maioria da população (DE OLIVEIRA, 2009).

Um exemplo interessante da associação entre a ACV e o LCC é a comparação entre os estádios Allianz Arena (Alemanha) e o João Havelange (Brasil). O polímero (tetrafluoretileno) da cobertura do Allianz Arena tem índices de emissões para o meio ambiente maiores que do concreto do Estádio João Havelange. Em compensação, a quantidade de material utilizada no estádio alemão é muito menor que a do brasileiro, que tem consumo previsto de 80.000m³ de concreto. O desempenho diferenciado de cada um em diferentes aspectos pode gerar resultados diferenciados de ACV (PCC 2540, 2004).

Para levantar todas as informações necessárias para caracterizar um ciclo de vida é de grande importância conhecer toda a cadeia produtiva pertinente ao produto. É nessa cadeia que se verifica o mapeamento dos processos e assim os fluxos de entradas e saídas, oriundas da extração, fabricação, logística, uso e destinação.

2.4 GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Na pesquisa sobre o comportamento de preços, mudanças de paradigmas organizacionais, interesse pela origem extrativista e até mesmo o fator das condições de trabalho, percebe-se o avanço do estudo além do ciclo de vida. Nota-se o envolvimento de vários agentes relacionados diretamente (ou indiretamente) ao processo produtivo, impactando toda a cadeia produtiva e suas especificações.

Dessa forma, busca-se pesquisar os aspectos da cadeia de suprimentos considerando questões como meio ambiente, segurança e direitos humanos, como

também as inter-relações entre outros aspectos de responsabilidade social (CARTER; JENNINGS, 2004), como foi citado no final da seção 2.1 desse trabalho.

A definição de cadeia de suprimentos tem sua origem no conceito de cadeia de valor, que, conforme Porter (1991) consiste no mapeamento linear das ações de adição de valor às atividades executadas ao longo de toda cadeia produtiva, desde a provisão de matéria-prima até a entrega do produto final ao consumidor, incluindo também os serviços de pós-venda. Ou seja, Porter observa que há o encadeamento de uma série de estágios definidos ao invés de um processo contínuo, justificando a denominação cadeia de valor. Então, a cadeia global fundamenta-se na combinação das cadeias de valor dos fornecedores, da empresa central, dos canais de distribuição e do consumidor final (ZACHARIAS, 2010).

A cadeia de suprimentos pode ser definida como um processo integrado onde várias entidades comerciais ou atores (fornecedores, processadores, distribuidores e varejistas) trabalham em conjunto no esforço de aquisição de matérias primas, na conversão das mesmas em produtos finais e na entrega desses aos consumidores (BEAMON, 1998; LAMBERT, COOPER, 2000; CHEN, PAULRAJ, 2004; ROTTA, 2009). Pode ser observado na Figura 16, o fluxo de matéria nessa cadeia tradicional, enquanto que o fluxo de informações ocorre nos dois sentidos.

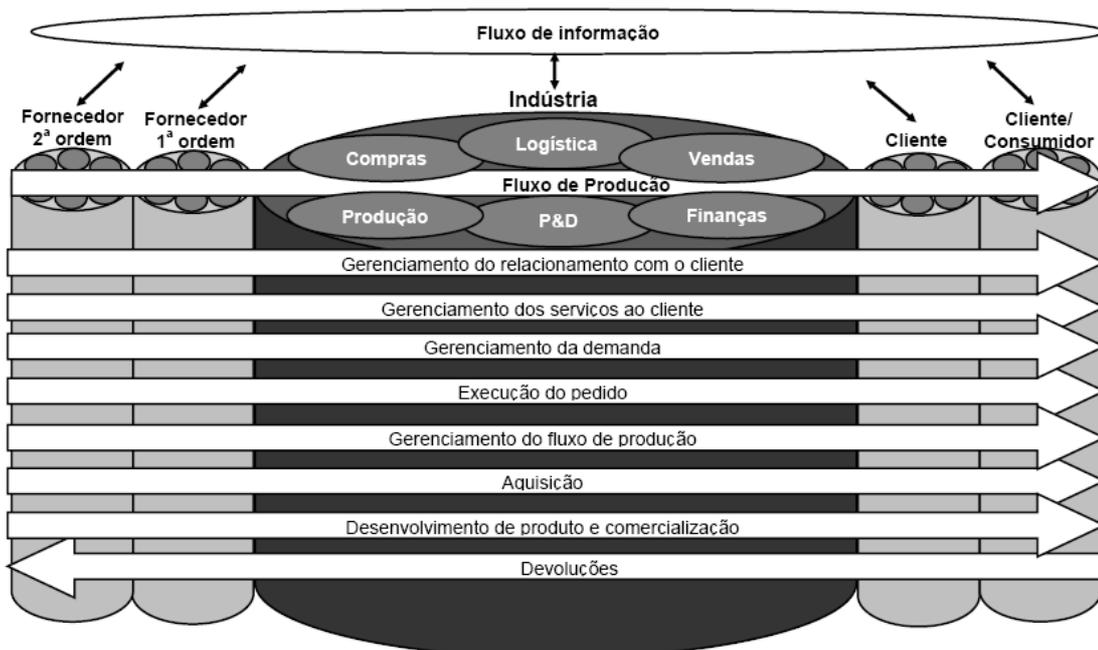


Figura 16 – Gestão da Cadeia de suprimentos: integração e gestão dos processos. Fonte: ROTTA (2009).

Então, entende-se de uma forma convergente, entre muitos autores, que a cadeia de suprimentos engloba todos os estágios envolvidos, direta ou indiretamente, no atendimento a um pedido de um cliente. A cadeia de suprimentos não inclui apenas fabricantes e fornecedores, mas também transportadoras, depósitos, varejistas e os próprios clientes (CHOPRA, MEINDL, 2004; PIRES, 2004).

A forma de integrar todos os processos e ativar os fluxos é através da gestão da cadeia de suprimentos (GCS). O termo gestão da cadeia de suprimento foi definido por Mentzer et al. (2002, p. 18) como a coordenação sistêmica, estratégica das funções de negócios tradicionais e as táticas através dessas funções de negócios dentro de uma determinada empresa e em todas as organizações na cadeia de suprimento, para melhorias a longo prazo no desempenho das empresas individuais e da cadeia de suprimento como um todo. Lambert et al. (2006, p. 2) também conceituam o termo como a integração dos principais processos de negócios a partir do usuário final através dos provedores originais, que fornecem produtos, serviços e informações que adicionam valor para os clientes e outras partes interessadas.

Love et al. (2004, p. 43) definem a gestão da cadeia de suprimentos dentro da indústria da construção como a rede de instalações e atividades que proporcionam clientes e valor econômico para as funções do contrato, concepção, desenvolvimento de serviços e gestão, materiais, fabricação, instalações e entrega. Porém, dentro de muitos setores a gestão da cadeia de suprimentos tem sido caracterizada por uma falta geral de coesão, relações contraditórias e uma mentalidade unilateral de projeto que impede a capacidade de aperfeiçoar a atividade de criação de valor (BANKVALL et al., 2010; DORAN et al, 2011).

Na pesquisa sobre gestão da cadeia de suprimentos, é importante ressaltar a associação do termo logística ao longo do tempo na literatura, porém muitas vezes os conceitos são confundidos. Entretanto, Lambert e Cooper (2000) caracterizam a diferença entre os termos, já que se entende a logística como apenas uma área funcional da organização, sendo uma parte do processo da GCS.

O termo logística foi originado nos conceitos militares como fundamentos de estratégia, porém, a partir da década de 60 do século 20, seus preceitos foram incorporados ao mundo empresarial.

Para Florby e Justad (2008) a logística é definida como um sistema de apoio funcional e uma ferramenta para a estratégia global; controle do fluxo de materiais e bens hoje constitui um fator determinante para o sucesso. Kohn (2005) explica a logística como uma parte da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla o processo de forma eficiente, mantém o fluxo reverso e armazenamento de mercadorias, serviços e informações relacionadas entre o ponto de origem e o ponto de consumo, a fim de atender as necessidades dos clientes.

Logística, tradicionalmente, descreve um conjunto de processos que ocorrem dentro dos limites de uma única organização que visa fornecer um produto ou serviço no mercado (HUGOS, 2006). Quando este produto ou serviço é entregue por um sistema de empresas, então o conceito de cadeia de suprimento emerge (VIDALAKIS, 2011).

Tradicionalmente, os modelos de cadeia de suprimentos são baseados em logística unidirecional na cadeia de valor (CHAFFEY, 2002). Alguns destes modelos podem até considerar as funções em uma cadeia de valor secundário (Figura 17 (a)). A maioria dos sistemas é configurada para apenas um sentido da logística, e lidar com um fluxo reverso de produtos pode tornar-se um processo difícil e custoso (KEWILL, 2000). Dado este problema, é necessário ver o fluxo reverso como parte integrante da cadeia de suprimento (Figura 17 (b)), principalmente onde o transporte físico das mercadorias ocorre.

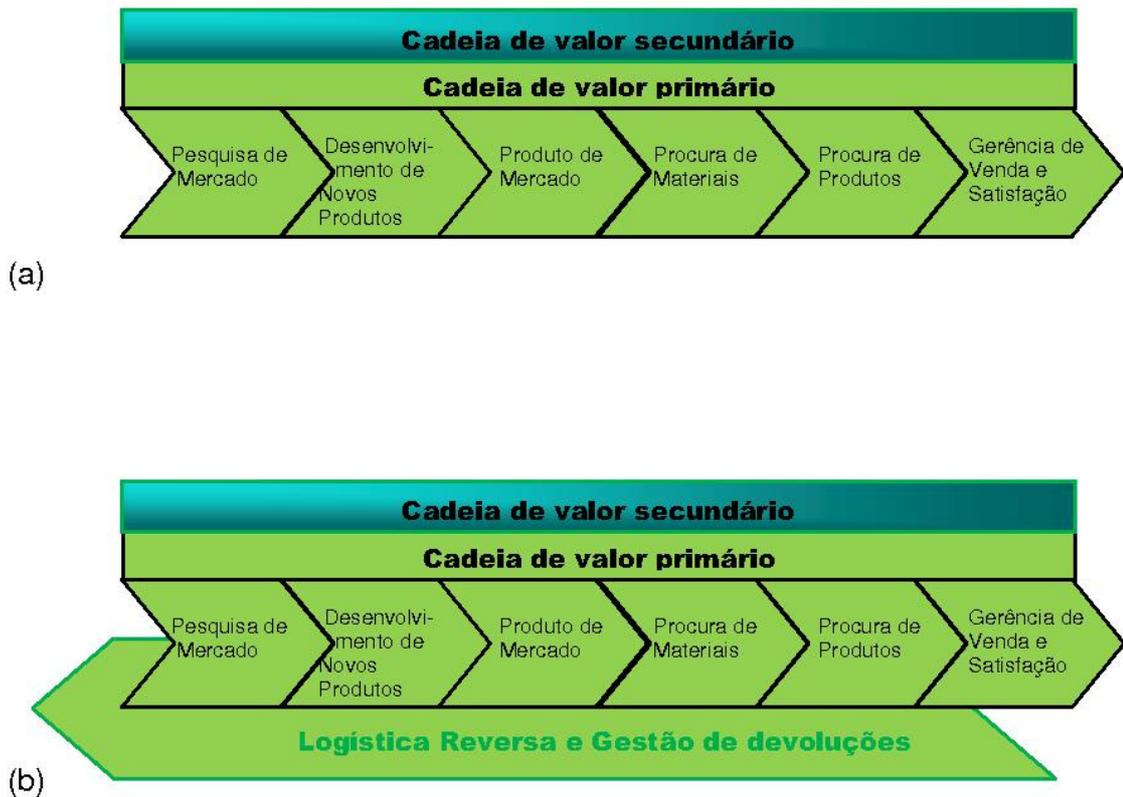


Figura 17 – Fluxos da cadeia de valor.
Fonte: Adaptado de KEWILL, 2000.

Nesse sentido, ressalta-se a importância da logística reversa como parte do processo da GCS. Para Kokkinaki et al. (2001), logística reversa representa todas as operações relacionadas com a reutilização de produtos e materiais. Bichler et al. (2002) afirmam que o processo de logística reversa inclui a gestão e venda de excedentes que retornaram. A logística reversa, ou mais precisamente a implantação de sistemas de logística reversa, ganha importância na cadeia de suprimentos. A estruturação dos canais reversos é um caminho para se dar novo uso a estes produtos, por meio de um novo emprego ou de uma transformação por beneficiamento industrial em outros produtos úteis (BEIRIZ, 2010).

A esfera de influência da logística e da GCS é a mesma, já que compreende toda a cadeia de suprimentos e o foco em sua eficiência. Entretanto, a GCS é um conceito mais amplo em função de estar relacionado não somente à gestão dos fluxos de produtos e informações, mas também à gestão dos relacionamentos existentes entre os membros da cadeia (ZACHARIAS, 2010).

A busca por informações e técnicas no gerenciamento da cadeia de suprimentos está crescendo entre as empresas em todo o mundo. As principais causas deste desenvolvimento são o aumento da pressão competitiva nos mercados atuais e a convicção que o relacionamento cooperativo dentro dos elos das cadeias de suprimentos possa criar vantagem competitiva (ROTTA, 2009).

A organização e gerenciamento das atividades dentro de uma cadeia de suprimentos é um grande desafio devido à complexidade do grande número de atividades e suas relações, mas avanços tecnológicos em particular têm permitido às empresas fazerem melhorias significativas. A comunicação através da internet abriu um grande número de oportunidades de negócios e transações mais rápidas em tempo real. Segundo Zimmer (2006), cada cadeia de suprimentos tem desafios diferentes. Cada uma tem clientes com diferentes requisitos, tipos de produtos, estruturas organizacionais, os horários, as estratégias de negócios, entre outros. No entanto, ainda há semelhanças na forma como os líderes da cadeia de suprimentos devem delinear sua estratégia.

Hugos (2003) identifica três etapas para o alinhamento da cadeia de suprimentos e estratégia de negócios: os requisitos do cliente, compreensão e definição das competências essenciais aos papéis da empresa para servir aos clientes e desenvolver as capacidades da cadeia de suprimentos para apoiar a estratégia da empresa.

Atualmente, a GCS tem sido enfocada de duas formas através do conceito de eficiência ou eficácia, sendo a primeira relacionada com as questões operacionais e a segunda quanto ao alinhamento estratégico, segundo os preceitos da teoria da administração. A eficiência está direcionada a redução de custos, diminuição de perdas e melhorias no processo visando o preenchimento das necessidades dos clientes. De outra forma, a eficácia busca estrategicamente a satisfação do cliente e os objetivos de longo prazo da organização (NEELY, GREGORY, PLATTS, 2005; TAROKH, SHOOSHTARI, 2005).

No estudo das diretrizes da gestão da cadeia de suprimentos, percebe-se a inter-relação entre aspectos pertinentes à estrutura de desenvolvimento sustentável alinhado com a estratégia de qualquer indústria. Somente com a verificação das

conexões e objetivos de cada cadeia será possível também propor conceitos e indicadores práticos na busca de soluções sustentáveis.

Os impactos produzidos pela cadeia de suprimentos interferem diretamente nos aspectos social, econômico e ambiental, formadores do tripé da sustentabilidade. Segundo Craig e Dale (2008), uma nova vertente dos estudos acrescenta mais alguns aspectos nesse conceito, como a estratégica, a integração transparente e consecução dos objetivos sociais, ambientais e econômicos de uma organização na coordenação sistêmica dos principais processos de negócios inter-organizacionais para a melhoria a longo prazo do desempenho econômico da empresa individual e suas cadeias de suprimento, criando o conceito de gestão sustentável da cadeia de suprimentos (PORTER AND KRAMER, 2002). Esta definição de gestão sustentável da cadeia de suprimentos (GSCS) é apresentada na Figura 18.

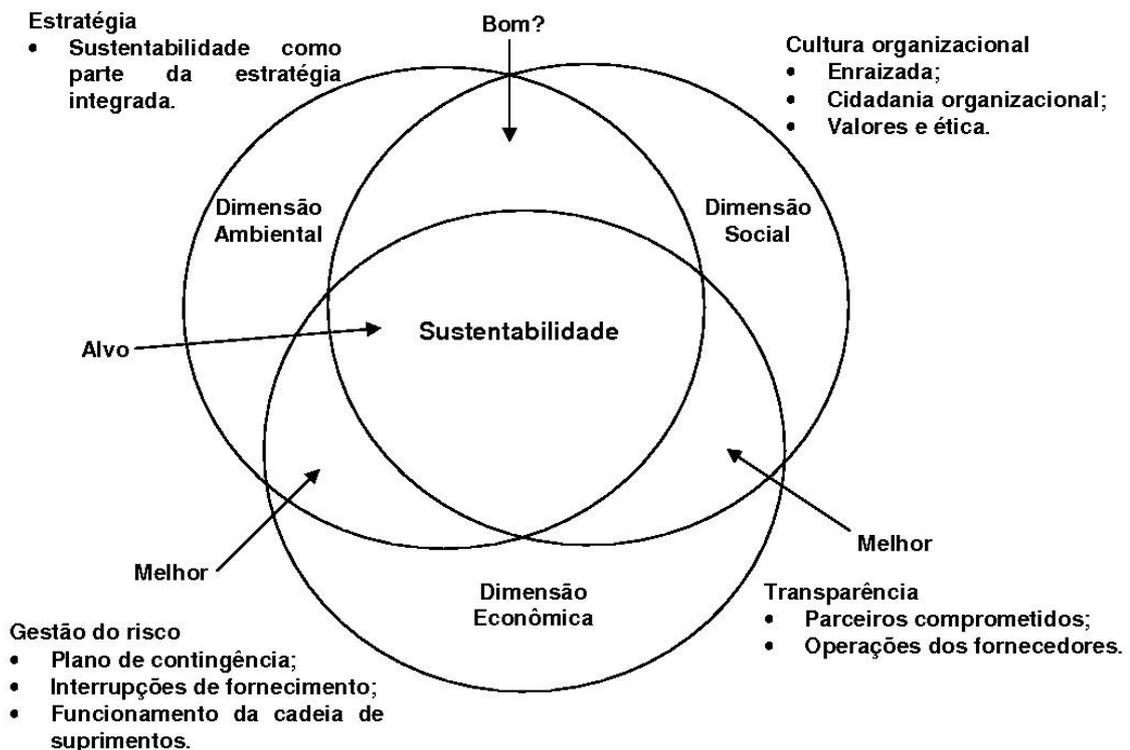


Figura 18 – Gestão sustentável da cadeia de suprimentos.
Fonte: Adaptado de CRAIG E DALE (2008).

A Figura 18 exemplifica as questões pertinentes às organizações e seus questionamentos em como serem responsáveis ambiental e socialmente envolvendo

a perspectiva econômica. A busca através da mitigação de comportamentos econômicos e outros aspectos é por soluções viáveis com desempenho econômico.

Para Cruz et al (2006), a discussão sobre a estratégia da cadeia de suprimentos associada ao desenvolvimento sustentável não representa somente um debate sobre novas técnicas de gestão, mas uma necessidade da sociedade contemporânea. Atualmente, o mundo se encontra em um momento em que a perspectiva convencional de competitividade, orientada unicamente para a dimensão econômico-financeira, faz surgir questionamentos mais complexos sobre a responsabilidade dos desequilíbrios sociais e ambientais presentes.

Alguns setores, dentre eles a indústria da construção, estão sendo mais pressionados quanto à implementação de ações que busquem o desenvolvimento sustentável visando os impactos relacionados. Para esse fim, é necessário o estudo e avaliação da cadeia de suprimentos desse setor.

A indústria da construção civil possui características e classificações muito particulares se comparadas às demais indústrias. Ela é composta por um setor bastante heterogêneo em relação a segmentos de mercado, sub-setores, até a disparidade do porte das empresas que a formam (MARCONDES, 2007).

A GCS para a indústria da construção tem se concentrado em adoção de conceitos, em vez de estudar mais profundamente os seus efeitos sobre o setor de forma real. A capacidade de quantificar o efeito da cadeia de suprimento a montante sobre a duração de uma atividade de construção fornece uma melhor estimativa da duração e taxa de produção dessa atividade e resultados em um planejamento mais preciso para o projeto de um empreendimento (EBRAHIMY et al, 2011).

Embora tenha havido estudos abordando o transporte e/ou inventário na indústria da construção (IC), essas questões têm sido geralmente pesquisadas em apenas um nível de toda a cadeia de suprimento da cadeia. A maioria dos estudos na área de cadeia de suprimentos da IC foi qualitativa (DAVIS 2008; ADETUNJI et al. 2008; KARIM et al. 2006, GREEN et al. 2005; JIANG et al. 2005; VAIDYANATHAN et al. 2005; COX et al. 2002; PALANEESWARAN et al. 2003; TOMMELEIN et al. 2003). Uma parte dos estudos se concentra em variáveis que relacionam confiança e desempenho na construção (DAVIS, 2008). Outras linhas de

pesquisa se concentram na utilização de tecnologias na cadeia de suprimentos (MIN et al. 2008; WANG et al. 2007).

Busca-se uma avaliação global da cadeia de suprimentos da indústria da construção para encontrar soluções aos desafios presentes na gestão incorporando as diretrizes de sustentabilidade. As organizações sempre tentaram maximizar o seu lucro ou minimizar os seus custos em diferentes níveis da cadeia de suprimentos. Porém, surge um novo paradigma que significa unir práticas sustentáveis sem alterar a conformidade ou o lucro.

A indústria da construção civil é um setor de grande relevância para o Brasil, levando-se em consideração que, sob o aspecto econômico, é responsável por mais de 7% do Produto Interno Bruto (CBIC, 2006) e que no campo social gerou, somente em 2006, um volume de 3,7 milhões de empregos (5,6% da população ocupada total) (BEIRIZ, 2010).

Dessa forma, a indústria da construção é uma grande incentivadora de outros setores da economia no Brasil. Esse fato é justificado pela geração de empregos, movimentação de investimento, renda e demanda industrial.

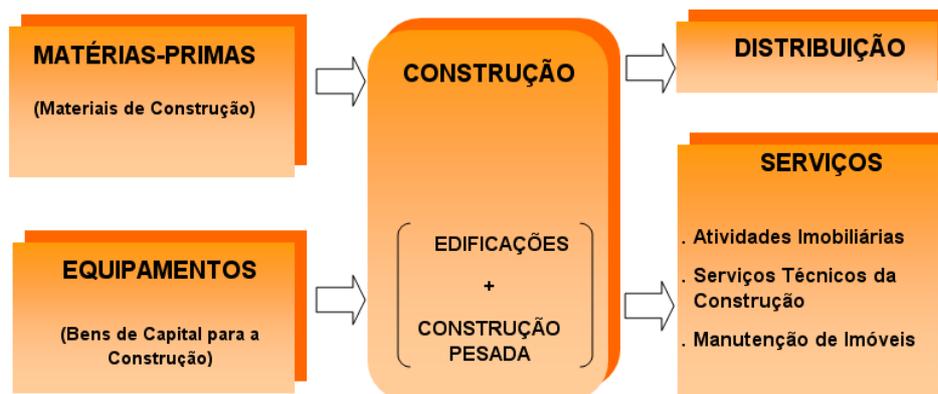


Figura 19 – Representação esquemática da cadeia produtiva da indústria da construção civil.

Fonte: CBIC, 2000.

A Figura 19 descreve a cadeia produtiva da indústria da construção e seus elementos. Um levantamento feito pelo MDIC (Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior) em 2006 verificou a existência de 204.855 empresas da cadeia da construção no Brasil distribuídas em: 115.939 empresas do sub-setor

de edificações, 10.811 empresas da construção pesada, 1.660 empresas de montagem industrial, 76.445 empreiteiros e locadores de mão-de-obra. Essas empresas são chamadas de transformadoras, ou seja, responsáveis pela produção ou construção do bem final. Apesar de características distintas, essas empresas formam parte dos agentes da cadeia produtiva da Construção Civil, que inclui também empresas de serviços, como consultoria, projeto e gerenciamento, e as indústrias de materiais e componentes, dentre outros (MARCONDES, 2007), conforme mostra a Figura 20.

Composição da Cadeia Produtiva da Construção Civil - 2010

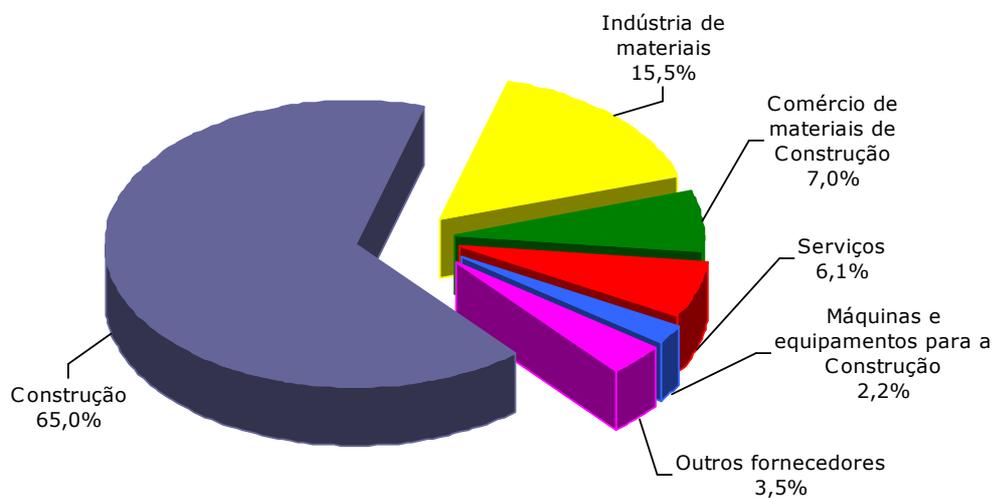
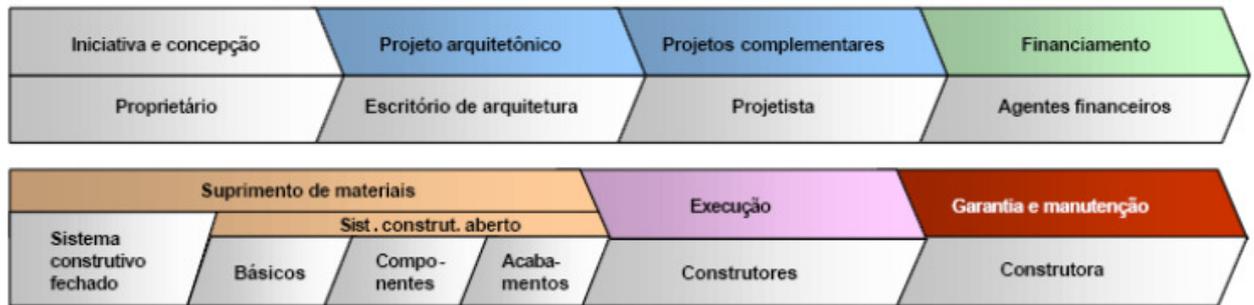


Figura 20 – Perfil da cadeia construtiva e da indústria de materiais (Novembro 2011).
Fonte: Disponível em <www.cbic.org.br>. Acesso em 20/07/2012.

A estrutura da cadeia de suprimento da construção civil e seus agentes variam de acordo com o setor e/ou sub-setor e a tipologia do empreendimento. A Figura 21 representa cadeia construtiva para o sub-segmento residencial formal de casas.



Legenda

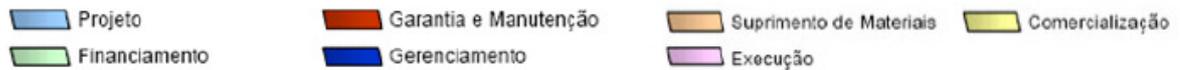


Figura 21 – Ilustração da cadeia construtiva para o sub-segmento residencial formal – casas.

Fonte: MDIC, 2004.

A Figura 22 representa cadeia construtiva para o sub-segmento de edifícios e condomínios horizontais.



** Exclui auto construção

Legenda

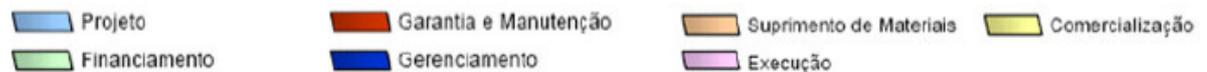


Figura 22 - Ilustração da cadeia construtiva para o sub-segmento residencial formal – Edifícios e condomínios horizontais.

Fonte: MDIC, 2004.

Um dos impactos da indústria da construção pode ser observado em aspectos sociais e econômicos. A preocupação social se faz presente nos números que traçam o perfil das construções no Brasil. Há um déficit habitacional, na ordem de oito milhões de unidades (CBIC, 2007), além da existência de aproximadamente 10 milhões de moradias inadequadas. Cerca de 80% deste déficit está situado nas

áreas urbanas, sendo mais de 90% entre famílias com renda de até cinco salários mínimos (BEIRIZ, 2010).

Conforme Marconde (2007), uma outra característica dessa indústria, vinculada à área social, foi a incorporação da maioria das tecnologias de forma empírica ao longo do tempo, que, associada a fatores socioeconômicos e baixa capacitação, resultam em procedimentos inadequados, com baixa conformidade e um quadro de informalidade.

Os impactos ambientais são tão expressivos quanto os números do avanço dessa grande indústria, considerando a sua sobrevivência da exploração contínua de recursos naturais e geração de resíduos. Como já foi citado, a indústria da construção é um setor responsável por grandes impactos ambientais, decorrentes tanto dos processos de produção quanto do próprio produto, dentre eles, a poluição do ar, água e solo, o elevado consumo de energia e o esgotamento de recursos naturais (DEGANI, 2003).

Zhang et al. (2000) acreditavam que a construção sustentável deve adotar uma abordagem sistemática que inclui a construção de construções sustentáveis com materiais renováveis e recicláveis. Como 90 por cento dos atuais parques imobiliários ainda vão estar em uso por pelo menos 30 anos, uma melhor gestão e renovação é necessária (The Sustainability Construction Task Group, 2004). Pesquisa realizada pelo British Research Establishment (BRE) comparando a sustentabilidade entre renovação e remodelação dos escritórios conclui claramente que a remodelação é a opção mais sustentável, pois é "... menor, tanto em impacto ambiental e todos os custos de vida do que soluções desenvolvidas comparativamente" (ANDERSON e MILLS, 2002).

Estimativas de geração anual dos resíduos da construção civil apontam índices mundiais variáveis. No caso do Brasil, ÂNGULO et al (2004) indicam 68,5 milhões de toneladas por ano. Com os eventos internacionais que o Brasil irá sediar e, por isso, um aumento de obras em todo o país nos próximos anos, esses índices sofrerão grandes crescimentos. É também de grande relevância a importância do aumento do consumo de energia para todas essas mudanças. Então, faz-se

necessário uma maior preocupação em mensurar e aplicar as orientações para sustentabilidade.

Dentro da construção que ocupa cerca de 65% da cadeia produtiva da construção civil (CBIC, 2011), encontram-se os segmentos de construção pesada e de edificações. Esse último pode ter subsetores como, por exemplo, o habitacional que nos últimos cinco anos tem concentrado os investimentos, através de iniciativas sociais e econômicas do governo federal (investimento social, oportunidade de crédito e estímulo à indústria) e por oportunidades para o setor privado (Figura 23).

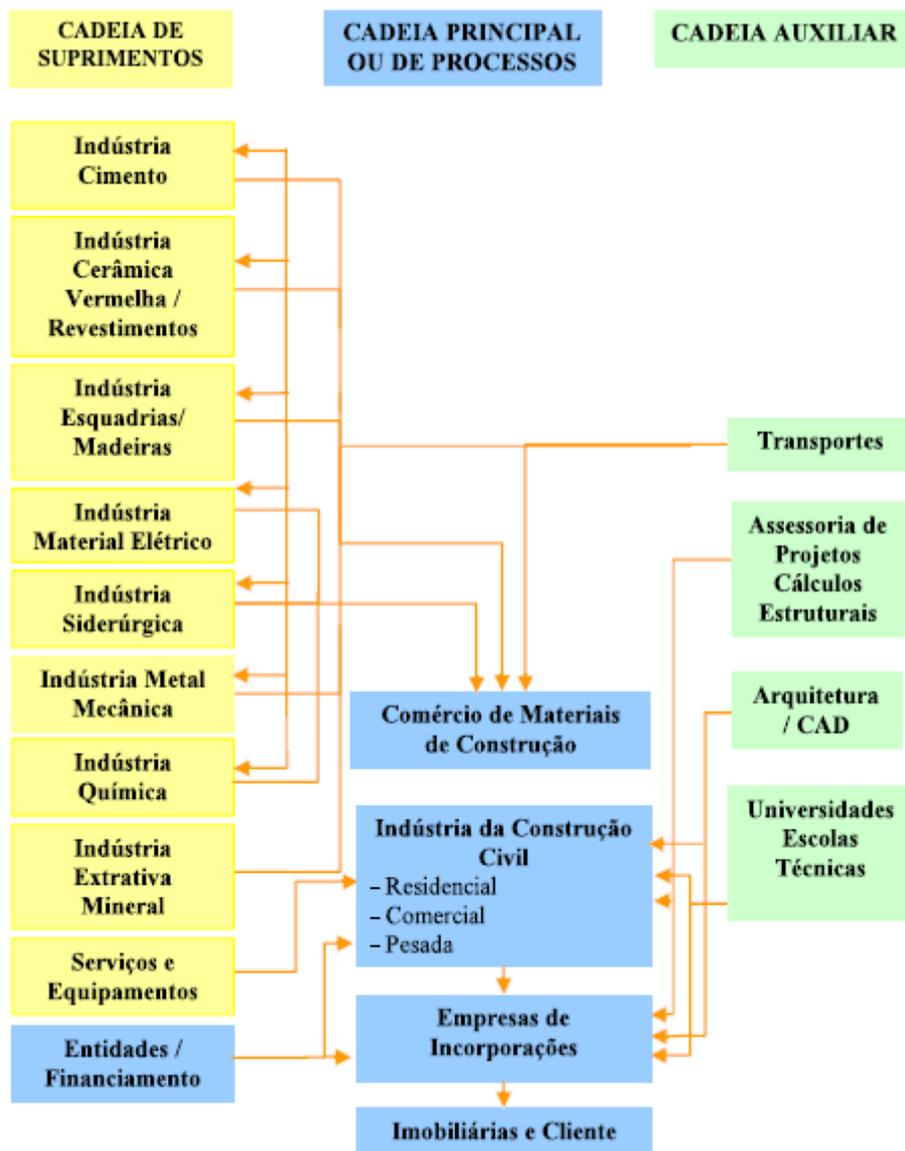


Figura 23 – Cadeia produtiva na construção civil.
Fonte: BLUMENSCHNEIN, 2004.

No desenho das políticas públicas habitacionais brasileiras, é fundamental a análise dos fatores demográficos e da dinâmica socioeconômica que condicionam a formação de famílias e, por consequência, as necessidades de moradias (CONSTRUBUSINESS, 2010). Essas necessidades decorrem de três processos principais:

- dinâmica familiar: processo de formação de novas famílias, o qual é influenciado pelo crescimento demográfico e pela evolução econômica da população;
- déficit habitacional: passivo de moradias decorrente do não-atendimento das necessidades ao longo dos anos; e
- depreciação: necessidade de reposição do estoque habitacional desgastado pelo uso.

Muitos problemas do setor habitacional no Brasil são reflexos das desigualdades sociais que vem se agravando há décadas. Um exemplo deles é o déficit habitacional, que segundo dados apresentados pela Fundação João Pinheiro (FPJ) em parceria com o PNUD, baseados na Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios (PNAD) realizado em 2007 é estimado em 6,273 milhões de domicílios, dos quais 5,180 milhões ou 82,6% estão localizados em áreas urbanas. Entretanto, dados do governo federal apontam que o déficit habitacional é de 7,2 milhões de moradias (JUNIOR et al, 2011).

No Brasil, o processo de ascensão social de parcela significativa da população de baixa renda confere um grande potencial ao mercado interno, principalmente ao setor de edificações habitacionais. A dinâmica demográfica e o cenário de crescimento econômico com mobilidade social determinam uma expansão forte do número de famílias entre 2010 e 2022, segundo estudos da Fundação Getúlio Vargas, e por consequência a demanda por moradias (CONSTRUBUSINESS, 2010). Atualmente, existe uma projeção da política habitacional, no intervalo de 2010 até 2022, de um aumento considerável do investimento em habitação. Estima-se que a construção das novas moradias deve mobilizar cerca de R\$ 204 bilhões por ano na média do período (indústria de

materiais, equipamentos, construção). Esse valor leva em consideração, imóveis de variados padrões, cada qual com um valor de referência.

A consequência dessa política é o crescimento e os investimentos nesse setor e uma grande movimentação na cadeia construtiva. Determinando o aumento da extração, processamento, consumo e distribuição de insumos da cadeia produtiva da construção civil e paradigmas socio-econômicos.

Então, é necessário reafirmar a preocupação com os aspectos de sustentabilidade, principalmente os fatores ambientais, impactados nessas mudanças ocasionadas por esse crescimento de setor utilizando como auxílio a avaliação do ciclo de vida das edificações.

No setor de construção, processos decisórios mais sustentáveis precisam de uma estrutura que busca atender às necessidades e aspirações de seus usuários e parceiros comerciais, sem agredir a sociedade e o seu meio.

Conforme Takaoka (2009), isso pode ser feito:

“... por meio do uso racional dos espaços, do uso eficiente e equilibrado dos recursos naturais, da maximização do uso dos recursos econômicos e financeiros, no conjunto dos ciclos de concepção, implantação, uso, atualização e demolição, com o objetivo de não prejudicar a qualidade de vida das gerações futuras e a sobrevivência do planeta.”

A mudança de parâmetros na tomada de decisão vem se intensificando nos últimos anos pela preocupação em considerar aspectos sustentáveis. Isso se faz necessário, pois exemplos recentes no setor de construção apresentaram problemas nas questões sociais e ambientais como: a construção do novo estádio para a copa em São Paulo, como está sendo conduzida a gestão de resíduos das obras do Maracanã e da demolição do hospital da UFRJ no Rio de Janeiro, as hidrelétricas pelo Brasil que estão com suas obras atrasadas ou embargadas por conflitos indígenas e impactos ambientais, entre outros.

3 CONSIDERAÇÕES SOBRE CICLO DE VIDA DE EDIFICAÇÕES E SUAS FERRAMENTAS

Para reduzir os impactos sobre o meio ambiente na sociedade atual, é imprescindível analisar a indústria da construção e seus produtos. As edificações são partes da infra-estrutura da vida das pessoas, pois representam os seus locais de trabalho, lazer e moradia. No entanto, o subsetor também é um grande consumidor dos recursos naturais como terra, água, matérias-primas e de energia durante sua produção, utilização, manutenção e demolição. A indústria da construção afeta o ambiente natural diretamente e indiretamente através do uso de produtos e serviços em virtude de seus longos ciclos de vida.

Há uma grande variedade de ferramentas para avaliação ambiental no setor de construção. Em suas abordagens metodológicas, Trinius (1998) faz sugestões que vão desde listas de verificação simples até abordagens para quantificar os impactos ambientais associados às construções, considerando todo o seu ciclo de vida. O mapeamento de um ciclo de vida está estruturalmente conectado à cadeia de suprimentos de todo o processo em todas as fases. Na cadeia de suprimentos da construção há muitas partes envolvidas que envolvem questões ambientais de grande importância. As avaliações e as respostas que essa cadeia necessita diferem em espécie, em caráter e nível de detalhes. Portanto, há uma grande demanda por estudos particularizados e ferramentas para avaliação.

Segundo Ortiz et al (2009), a aplicação da ACV é fundamental para a sustentabilidade e melhoria na construção civil. Para as atividades industriais, as empresas devem entender a aplicação da ACV, não só para atender às demandas do consumidor por produtos ecologicamente corretos, mas, também, para aumentar a produtividade e a competitividade nos mercados de construção verde. Por essa

razão, ressalta-se a importância da ACV pela sua ampla aceitação internacional como um meio utilizado para melhorar os processos ambientais e serviços no setor de construção.

Há diversas instituições internacionais independentes que emitem diferentes certificados baseados em ACV. As empresas certificadas recebem um selo de responsabilidade ambiental. Entre essas instituições, a U.S. Green Building Council (USGBC), nos Estados Unidos, é considerada uma das mais importantes associações dos principais representantes da indústria da construção. Visa promover edifícios ecológicos e eficientes, que também proporcionam um espaço saudável para se viver e trabalhar. Ela elaborou o sistema LEED (Liderança em Energia e Design Ambiental) para a classificação de edifícios ecológicos através de um padrão voluntário, nacional e consensual para o desenvolvimento de edifícios sustentáveis de alto desempenho. Outra instituição que certifica e mantém seus estudos com os resultados da aplicação do ciclo de vida é o Conselho Alemão de Construção Sustentável (DGNB); os critérios deste certificado para edifícios sustentáveis se baseiam nos resultados da mesa redonda sobre Construção Sustentável no Ministério Federal dos Transportes, Construção e Desenvolvimento Urbano da Alemanha. Além do conceito de ciclo de vida, o certificado envolve os aspectos ecológicos de "edifício verde", bem como questões econômicas e sócio-culturais.

A utilização da ACV proporciona novas perspectivas sobre os processos construtivos e os caminhos para minimizar os seus impactos. Um exemplo é a visualização das relações entre custos, tomada de decisão e impactos ambientais. Os investimentos em empreendimentos da construção estão, intimamente, conectados a tomada de decisões ao longo de todas as fases do processo imobiliário.

Limmer (1997) detalhou o ciclo de vida de um empreendimento com suas fases especificadas, com algumas sobreposições e relacionamentos interdependentes, como podem ser vistos na Figura 24.

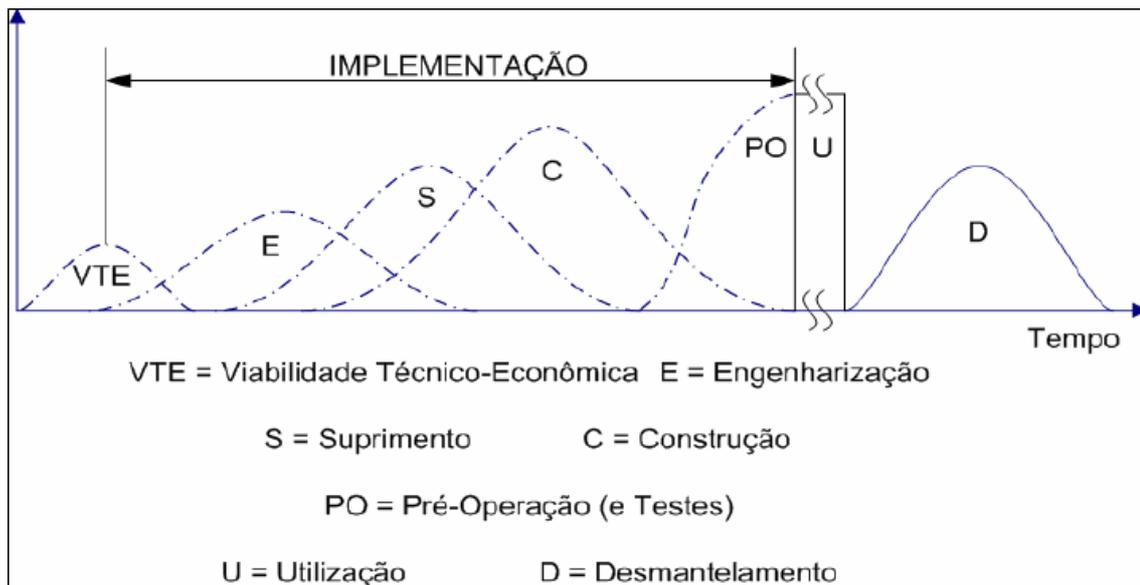


Figura 24 – Ciclo de vida de um empreendimento.
 Fonte: LIMMER, 1997.

A Figura 24 descreve o complexo sistema das fases do ciclo de vida das edificações e possibilita observar a dificuldade em definir fronteiras e intervalos de tempo das etapas. Segundo Rodrigues (2006), essas fases podem ser analisadas e descritas como abaixo, para que sirvam de planejamento.

- Viabilidade técnico-econômica: fase do planejamento e avaliação do projeto com as suas respectivas necessidades em relação aos recursos tecnológicos e a relação custo-benefício quanto à sua utilização;
- Engenharização: composição do projeto básico e desenvolvimento do projeto detalhado, identificando os recursos de construção;
- Suprimento: planejamento e aquisição dos materiais, equipamentos e mão-de-obra necessários para realizar o projeto;
- Construção: execução do projeto conforme o planejamento com as tecnologias apropriadas;
- Pré-operação (e testes): início do funcionamento do produto obtido, de forma gradual, integrando as partes que vão sendo concluídas;

- Utilização: o produto está em operação ou utilização. Nessa fase, a manutenção deve ser cumprida para que o produto possa continuar atendendo às finalidades originais ou planejar um novo uso;
- Desmobilização: ao fim da vida útil do produto, ele precisa ser desmobilizado ou desmantelado, ou seja, verificar a destinação dos rejeitos produzidos e verificar os impactos dos mesmos.

Com o delineamento dos indicadores pertinentes à sustentabilidade em empreendimento é possível analisar as fases do ciclo de vida e por consequência avaliar parâmetros viáveis em termos de custo, tempo e conformidade. A interpretação desses aspectos cria diretrizes quanto a uma metodologia para suporte da tomada de decisão.

Estudos podem ser feitos preliminarmente, ainda na fase de viabilidade técnico-econômica, com investimento inicial alto na fase de planejamento de uma construção, que evidencia uma importância fundamental, não somente dos aspectos financeiros, como também dos aspectos ambientais de uma edificação (TRAJANO, 2010). Os impactos associados à falta de um estudo prévio, a médio e longo prazo, podem trazer consequências graves ao ambiente, caso a instituição (empresa órgão governamental, etc.), não venha dar importância a essa fase inicial. Embora estes aspectos sejam impactantes economicamente, é de grande importância nas decisões que serão tomadas a partir deste estudo prévio, diminuindo, ou até mesmo evitando danos e prejuízos futuros ao ambiente (PCC 2540-USP, 2004). A Figura 25 mostra um exemplo da influência média de decisões em etapas do empreendimento no impacto ambiental.

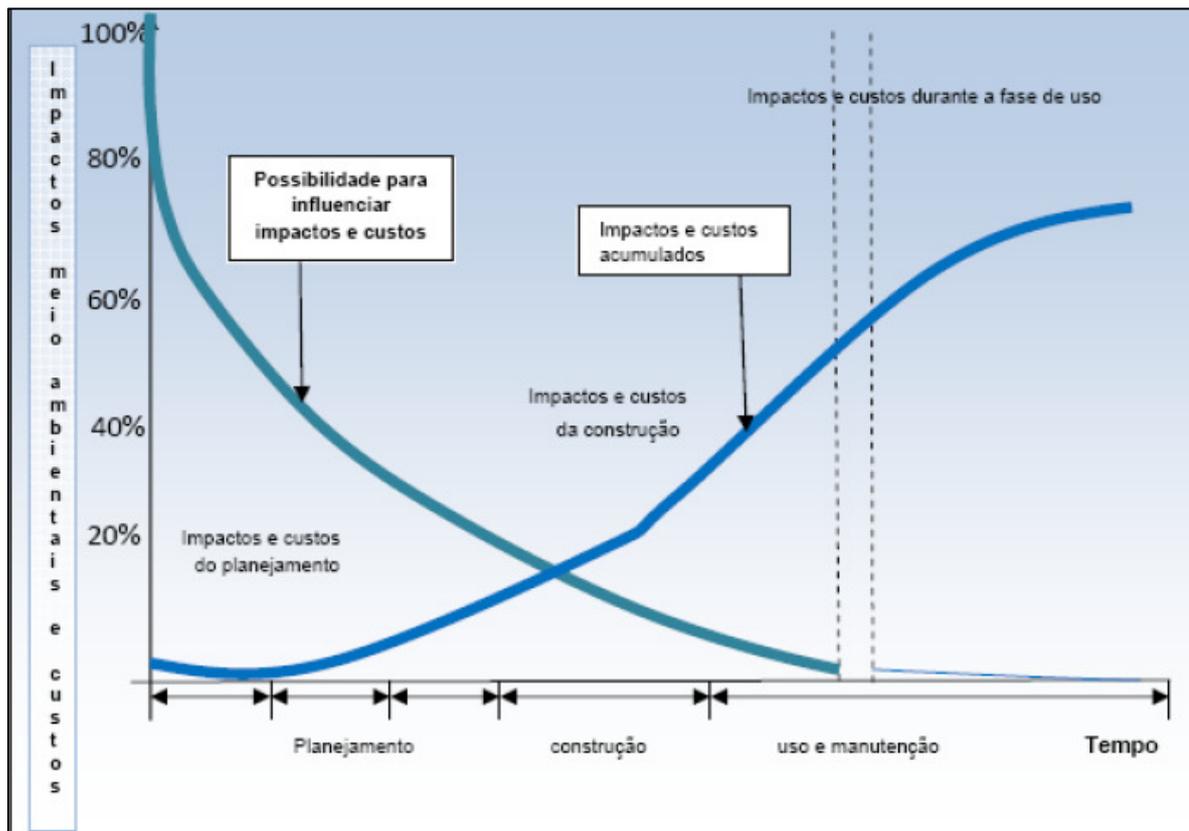


Figura 25 – Influência média de decisões em etapas do empreendimento no impacto ambiental

Fonte: PCC 2540 – O edifício e o ambiente – USP (2004).

A *EU 6th Framework Co-ordination Action for Innovation in Life-Cycle Analysis for Sustainability* possui como objetivo geral o desenvolvimento da ISO-LCA em um amplo quadro interdisciplinar que contribua com a tomada de decisão, denominado Análise da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) com as seguintes características (CALCA, 2009):

- maior confiabilidade e usabilidade da ISO-LCA;
- aprofundamento do atual modelo (ou seja, a adição de mais mecanismos e/ou mais sofisticações) para melhorar a sua aplicabilidade em diferentes contextos, aumentando sua confiabilidade e usabilidade;
- ampliação do âmbito da ACV através de uma melhor incorporação dos aspectos de sustentabilidade com base em modelos já utilizados e similares para melhorar a sua aplicação;

- avanço através do cruzamento com outras disciplinas para avaliação da sustentabilidade, realizando uma revisão e enriquecimento de sua fundamentação.

Segundo Malmqvist et al (2011), a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é utilizada atualmente em grau muito limitado no setor da construção, por várias razões. Em primeiro lugar, fazer uma avaliação da ACV de uma construção exige ferramentas específicas para lidar com os grandes conjuntos de dados necessários. Essas ferramentas precisam ser adaptáveis a diferentes processos de tomada de decisão ao longo do ciclo de vida do empreendimento. Algumas ferramentas têm sido desenvolvidas em alguns países, com algumas limitações. Entretanto, foram levantados resultados e experiências úteis, fornecendo uma valiosa fonte de dados para o desenvolvimento orientações para a aplicação em outros países. Uma vez que os resultados de uma ACV de uma construção podem conter informações complexas, o grande desafio é encontrar formas eficientes de organizar e selecionar os dados de entrada, bem como a comunicação dos resultados aos usuários e clientes. Algumas barreiras ao uso da ACV em geral, incluem dificuldades pela complexidade de informações, precisão e arbitrariedade de dados, assim como problemas em relação à interpretação de resultados. Os softwares de aplicação como ferramentas da ACV ainda são escassos, de custo elevado e de complexo aprendizado para um usuário em geral. Entretanto com o crescimento dos estudos, viabilidade e precisão do método, verifica-se um aumento nas iniciativas para desenvolvimento da área (DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND HERITAGE, 2001; KOTAJI et al, 2003).

É importante ressaltar que o desenvolvimento de estudos de ACV em edificações apresenta alguns desafios e algumas alterações devidos, entre outros aspectos, às diferenças apresentadas com relação ao ciclo de vida de produtos industriais que envolvem, normalmente, um curto espaço de tempo, bem como a cadeia produtiva ser particularizada por características locais, assim como também muitos processos de fabricação (CAMPOS, 2007). No Brasil, de acordo com estudo divulgado e elaborado pela FGV Projetos a pedido da Abramet (Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção) e do Etco (Instituto Brasileiro de Ética Concorrencial), a indústria da construção apresenta 60,8% de informalidade.

No setor de material de construção, a informalidade é de 27,6% (IMOVELWEB, 2006). Muitos dados são difíceis de mensurar, já que possuem origens na informalidade. Outro fator importante nos estudos de ACV no Brasil é que os sistemas construtivos não industrializados como na maioria dos países desenvolvidos, por exemplo, a Espanha. Muitos processos construtivos ainda são arcaicos e com baixo controle de qualidade. Ressaltando que a indústria da construção tem diversos setores e processos como citados na seção 2.4 desse trabalho.

Mesmo com as suas limitações atuais, o maior indicador de uso da ACV em construção é o critério de vida útil. Empreendimentos de construção, ao contrário de produtos com pequena vida útil (semanas, meses ou poucos anos), são em geral, caracterizadas por uma vida útil que se estende por anos, décadas ou mesmo séculos (SOARES et al, 2006). A vida útil é definida como um intervalo de tempo ao longo do qual a edificação e suas partes constituintes atendem aos requisitos funcionais para os quais foram projetadas, obedecendo aos planos de operação, uso e manutenção previstos. Há que se considerar, todavia, que a vida útil não compreende todo o ciclo de vida destas obras, cuja extensão temporal e abrangência são ainda maiores. A Tabela 4 apresenta a vida útil média relacionada com os processos e sistemas construtivos.

Tabela 4. – Processos de construção civil e respectivos tempos de vida útil.

| Vida útil média | Processos de construção específicos |
|------------------------|---|
| 1 a 3 anos | Projeto e construção do edifício |
| 3 a 5 anos | Tempo de manutenção e uso |
| 10 a 15 anos | Tempo médio de uso e renovação parcial |
| 30 a 50 anos | Tempo longo de uso e renovação total |
| 80 a 120 anos | Tempo de vida útil de sistemas estruturais de edificações |
| Superior a 150 anos | Tempo de vida útil de monumentos |

Fonte: adaptado de European Commission (1997) apud Soares et al (2006).

Ainda segundo Soares (2006), para a realização de análises comparativas entre diferentes edificações através da ACV, é necessário definir e quantificar as

características de desempenho e promover a equivalência entre os sistemas analisados. Tais comparações são estabelecidas tendo-se como base uma mesma função, relacionada à determinada unidade funcional e exercida durante determinado período. Consideram-se também os procesos utilizados de avaliação para possíveis manutenções da edificação e seus impactos na vida útil da mesma. A Figura 26 descreve a influência da manutenção na relação entre vida útil e desempenho de uma edificação.

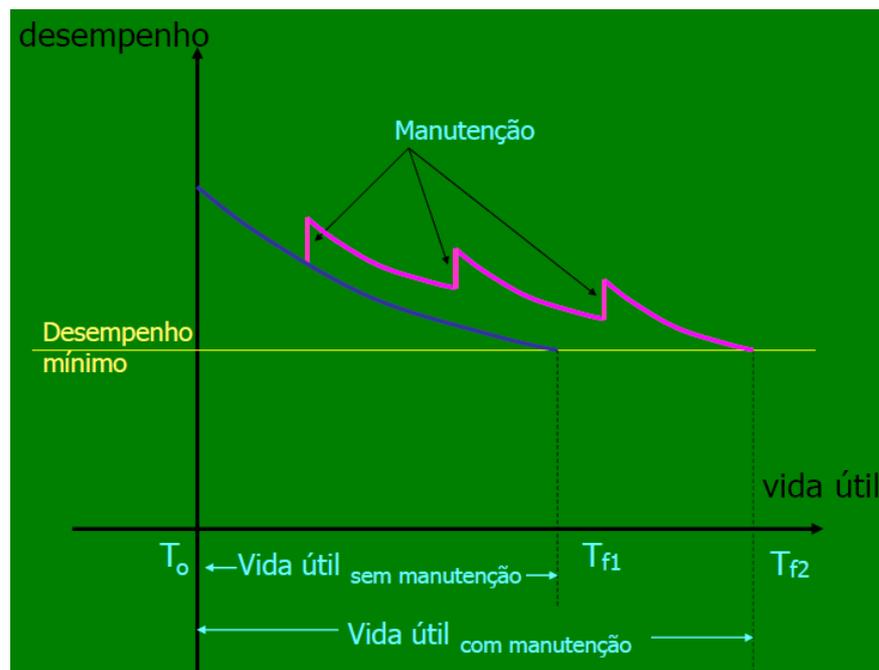


Figura 26 – Relação entre vida útil e desempenho numa edificação.
Fonte: SABBATINI, (2009).

Em relação à determinação da vida útil de projeto (VUP) do edifício existem internacionalmente diversas e variadas proposições. No entanto, em relação aos edifícios habitacionais, observa-se que as mesmas apresentam convergência, com indicações para edifícios entre 50 e 60 anos (SABBATINI, 2009). Inclusive no Brasil, o valor usual adotado para vida útil de projeto nas edificações de concreto armado convencionais é de 50 anos, baseado na norma de concreto NBR 6118 (2007). Entretanto, ao analisar as edificações existentes e suas características construtivas, nota-se uma vida útil maior do que 50 anos. Na Tabela 5 são apresentadas as especificações da norma BS 7543 (BSI, 2003), que classificam os diversos tipos de edifícios em 5 classes segundo a categoria de vida útil de projeto (VUP).

Tabela 5. – Categorias de vida útil de projeto segundo a BS 7543/2003.

| CATEGORIAS DE VUP PARA EDIFÍCIOS (BS 7543) | | | |
|---|-------------|----------------------------|---|
| Categoria | Descrição | Vida útil para a categoria | Exemplos |
| 1 | Temporária | Por acordo e até 10 anos | Abrigos não-permanentes e edifícios de exposição temporários |
| 2 | Vida curta | Período mínimo de 10 anos | Edifícios educacionais temporários, lojas de varejo, escritórios (renovação interna) |
| 3 | Vida média | Período mínimo de 30 anos | Edifícios industriais, renovação de edifícios habitacionais |
| 4 | Vida normal | Período mínimo de 60 anos | Escolas e hospitais novos; edifícios habitacionais novos; renovação de alta qualidade de edifícios públicos |
| 5 | Vida longa | Período mínimo de 120 anos | Edifícios públicos e outros edifícios de alta qualidade |
| OBS.: esta tabela é válida também para componentes, elementos e subsistemas | | | |

Fonte: SABBATINI, (2009).

No Brasil, foram publicadas no dia 12 de maio de 2008 e entraram em vigor em 12 de maio de 2010, as partes que formam a norma ABNT NBR 15.575, que são as primeiras do país a estabelecer parâmetros que permitem avaliar o desempenho de edificações. Dirigidas a edificações habitacionais de até cinco pavimentos, também devem se tornar referência dos contratantes para outros tipos de edifício, mas ainda hoje é motivo de muita polêmica no setor da construção civil. Entre as novidades, elas definem responsabilidades dos agentes envolvidos, do incorporador ao usuário, e trazem novos parâmetros de projeto e especificação, inclusive a vida útil mínima de sistemas (estruturas, vedações, pisos, entre outros) e da edificação como um conjunto. Os projetos passam a ser concebidos em função dessa vida útil e os sistemas, elementos e componentes especificados devem ter durabilidade compatível.

A NBR 15.575 refere-se ao desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Porém, seus parâmetros serão aplicáveis também em projetos de casas e de prédios residenciais com qualquer quantidade de andares. Existem aspectos que não estão relacionados à altura do edifício e o número de pavimentos; a norma possui um conteúdo e especificações mais abrangentes que o título.

A NBR 15.575 (2008) está dividida em seis partes, que abrangem especificamente requisitos gerais da edificação, sistemas estruturais, sistemas de pisos, de vedações verticais externas e internas, de coberturas e hidrossanitários e remetem às normas técnicas que devem ser seguidas em cada uma dessas etapas do projeto (Tabela 6).

Tabela 6. – As partes que integram a norma NBR 15.575/2008.

| NBR 15.575/2008 | |
|--------------------------|--|
| ABNT NBR 15.575-1 | Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais |
| ABNT NBR 15.575-2 | Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais |
| ABNT NBR 15.575-3 | Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos |
| ABNT NBR 15.575-4 | Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas |
| ABNT NBR 15.575-5 | Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas |
| ABNT NBR 15.575-6 | Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho Parte 6: Sistemas hidrossanitários |

Fonte: ABNT, (2008).

Para cada sistema são instituídos níveis mínimos de desempenho, os métodos de avaliação e a vida útil, a fim de atender às demandas dos usuários em termos de segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Essas demandas estão definidas na primeira parte da norma, que inclui também os requisitos gerais comuns aos diferentes sistemas, estabelecendo as interações entre eles, sempre com foco no desempenho global e no comportamento em uso do edifício, conforme a Tabela 7. As demais partes isolam os sistemas determinados.

Tabela 7. – Especificações da norma NBR
15.575/2008.

| Vida útil mínima dos sistemas (em anos) | |
|---|----|
| Estrutura | 40 |
| Pisos internos | 13 |
| Vedação vertical externa | 40 |
| Vedação vertical interna | 20 |
| Cobertura | 20 |
| Hidrosanitário | 20 |

Fonte: adaptado da ABNT, (2008).

Atingir determinado desempenho ao longo da vida útil depende de uma série de agentes, dos projetistas, construtores, incorporadores e dos usuários. Portanto, a norma define as responsabilidades de cada um, além daquelas já previstas pela NBR 5.671 (1991). A mais importante diz respeito à vida útil dos sistemas da edificação e deve ser especificada pelos projetistas de arquitetura, sempre em acordo com o mínimo previsto na NBR 15.575. O projeto deve determinar a periodicidade de inspeções, prazos para a substituição de peças e condições de manutenção geral de modo a se atingir a longevidade esperada. Essas diretrizes orientam os projetistas, incorporadores e usuários a priorizar a durabilidade, o desempenho e também otimizando a escolha e o consumo de recursos ao longo do ciclo de vida da edificação. Com essas medidas, a indústria da construção começa a implementar de forma prática os parâmetros de sustentabilidade.

Todas as decisões tomadas em relação a edificação deve ser analisada como um possível dado dentro de uma ACV, desde a definição sistema construtivo até a especificação do material. Entretanto, vale ressaltar que a organização e a qualidade dos dados de entrada de uma ACV são essenciais para resultados com credibilidade para suporte da tomada de decisão.

O princípio utilizado na escolha de um material, em um conjunto de opções que cumprem uma mesma função ecoam o mesmo desempenho, pode ser utilizado na concepção de uma edificação composta de vários materiais. Assim, é possível

vislumbrar a idéia de que todas as etapas construtivas e gerenciais de uma obra passariam por um processo de ACV, de modo a que se considere a menor repercussão ambiental, associada ao seu ciclo de vida: construção, uso e demolição (SOARES, 2006).

A partir de uma pesquisa sobre a utilização da ACV, verificam-se temas que caracterizam as diferenças entre a ACV de materiais de construção e componentes (BMCC - building materials and components), como o cimento ou o aço; e a ACV da vida da construção (WPC - whole process of constructions), como um prédio. Existem diferenças práticas nesses cenários, pois a partir da literatura científica, foi observado que o ciclo completo para construir um prédio não é padronizado; ele é diferente em cada caso, pois cada um tem sua própria função e características diferentes da engenharia. Por exemplo, técnicas de construção, estilo de arquitetura e condições diferentes, tais como tamanho da família, clima e comportamento de consumo cultural variam de país para país. Além disso, uma variação em cada projeto pode afetar o meio ambiente durante todas as fases do ciclo de vida de um edifício (ORTIZ et al, 2009). Então, a fronteira do estudo deve ser delimitada ao objetivo do tipo de construção e insumos utilizados.

As diferenças entre a ACV de materiais de construção e combinações de componentes em relação à ACV do total construção de ciclo de vida também devem ser exploradas para definir as fronteiras de pesquisa e aplicação durante o processo de avaliação. Somente através de estudos direcionados é possível avançar na prática da ACV. Dessa forma, procura-se desmembrar a metodologia da ACV para explorar de forma analítica os quesitos e fundamentos no processo de avaliação.

Como já foi mencionada na seção 2.3 desse trabalho, a descrição da metodologia ACV baseia-se nas normas internacionais da série ISO 14040 e consiste de quatro etapas distintas de análise: a definição da meta e escopo, criação do inventário, avaliação do impacto e finalmente, a interpretação dos resultados (ISO 14040, 2006). Para desdobramento das etapas de ACV em edificações, segue uma síntese das fases.

Em primeiro lugar, a definição de objetivo e escopo envolve finalidade definir, audiências e os limites do sistema. O escopo, os limites e o nível de detalhamento

de uma ACV dependem do objeto de estudo e do seu uso, ou seja, a definição da unidade é fundamental (KLEIN, 2002). John (2000) afirma que a delimitação da abrangência do estudo é importante devido à cadeia de impactos se estender por longo tempo. Lipiatti apud John (1998) sugere prosseguir com a árvore de inventário de impactos enquanto estes apresentarem participação relevante: (i) na massa do produto, (ii) no consumo de energia do produto e, (iii) como critério de desempate, no custo do produto.

Em segundo lugar, o inventário do ciclo de vida (ICV) envolve a coleta de dados para cada unidade do processo sobre todas as entradas e saídas relevantes de energia e fluxo de massa, bem como dados sobre as emissões para o ar, a água e da terra. Esta fase inclui calcular tanto o material e a entrada de energia e saída de um sistema de construção.

Em terceiro lugar, a avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV). Essa fase avalia os potenciais impactos ambientais e as estimativas dos recursos utilizados no sistema modelado. Esta fase consiste de três elementos obrigatórios: seleção de categorias de impacto, atribuição de resultados do ICV (classificações) e modelagem de indicadores por categoria (caracterização). Conforme Ortiz et al (2009), a classificação dos resultados do ICV envolve atribuir às emissões, resíduos e recursos utilizados para as categorias de impacto escolhido, por exemplo, CO₂ e CO. Os resultados são convertidos e agregadas em indicador, que é o resultado final da parte obrigatória de uma AICV. Normalização, agrupamento, ponderação e características adicionais dentro de uma AICV para uma análise de qualidade de dados são passos opcionais e dependem das metas estabelecidas.

Então, o último estágio da ISO 14040 (2006) é a interpretação. Ainda, segundo Ortiz et al (2009), nessa fase identificam-se questões significativas, avaliam-se resultados para chegar a conclusões e formulam-se recomendações. O relatório final é o último elemento para completar as fases de ACV de acordo com a ISO 14040 (2006).

Por apresentar um alto grau de subjetividade, para reduzir os riscos de manipulações, abusos na condução ou mesmo erros involuntários devido à complexidade dos estudos, a norma NBR ISO 14.040 faz recomendações. Ela

salienta que uma revisão crítica pode ser realizada por um especialista independente do estudo de ACV e também que as partes interessadas e/ou especialistas nos processos sejam inclusos na revisão para reduzir a probabilidade de efeitos negativos (CARVALHO, 2008). A Figura 27 mostra a relação em forma de gráfico das diferentes fases do ciclo de vida uma edificação habitacional a energia incorporada ao longo do ciclo.

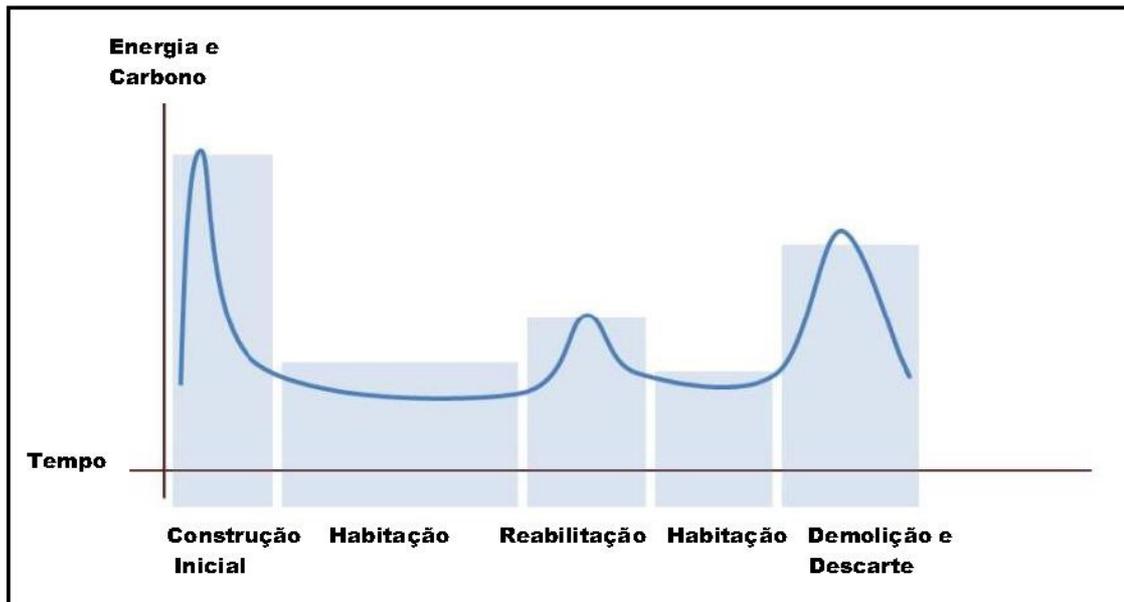


Figura 27 – Ciclo de vida de uma edificação habitacional e a energia incorporada.
Fonte: adaptado de Historic Boston INC, (2010).

Através da Figura 27, podem se observar os diferentes intervalos de tempo nas fases do ciclo de vida, configurando características particularizadas em relação as entradas, manufatura desse produto, transporte para manter esse organismo e classificação das saídas. Por conseqüência, os impactos ambientais também são particularizados de forma qualitativa e quantitativa ao longo do ciclo de vida da edificação. É importante ressaltar que há uma discussão sobre a quantidade de energia consumida nas fases de construção e habitação (uso) que pode ser observado na Figura 27. Os consumos de energia na construção e no uso podem variar de acordo com o perfil da edificação. No caso de um edifício que possui objetivos de comerciais, pode ocorrer uma diferença grande no consumo de energia durante a maior fase de vida, o uso, em relação a uma edificação habitacional. Como as edificações não são, em sua maior parte, padronizadas, muitos estudos precisam ser feitos para verificar a classificação da construção e o consumo.

Durante as fases do ciclo de vida dos edifícios ocorrem interações dos mesmos com o meio ambiente através de atividades que podem gerar impactos ambientais com diferentes categorias (HENRIQUES, 2008).

- Impactos associados a consumos energéticos: alterações climáticas, chuvas ácidas e degradação da camada do ozono;
- Impactos não associados a consumos energéticos: produção de resíduos;
- Destruição de ecossistemas: desflorestação e desertificação.

E ainda segundo Couto e Mendonça (2011), os impactos que a construção de edifício tem sobre o ambiente podem ser analisados a partir dos seguintes pontos:

- Posição e integração dos edifícios no terreno e perímetro;
- Influência do design no comportamento do edifício durante sua vida útil;
- Influência dos equipamentos no comportamento do edifício durante sua vida útil;
- Características dos materiais utilizados - pelos impactos que estes podem produzir no ambiente durante os processos de extração de matérias-primas, fabricação, vida úteis, e, no final de cenários da vida (reutilização / reciclagem / recuperação de energia).

A Figura 28 descreve as entradas e saídas de cada fase de uma edificação, juntamente com os impactos pertinentes as fases.

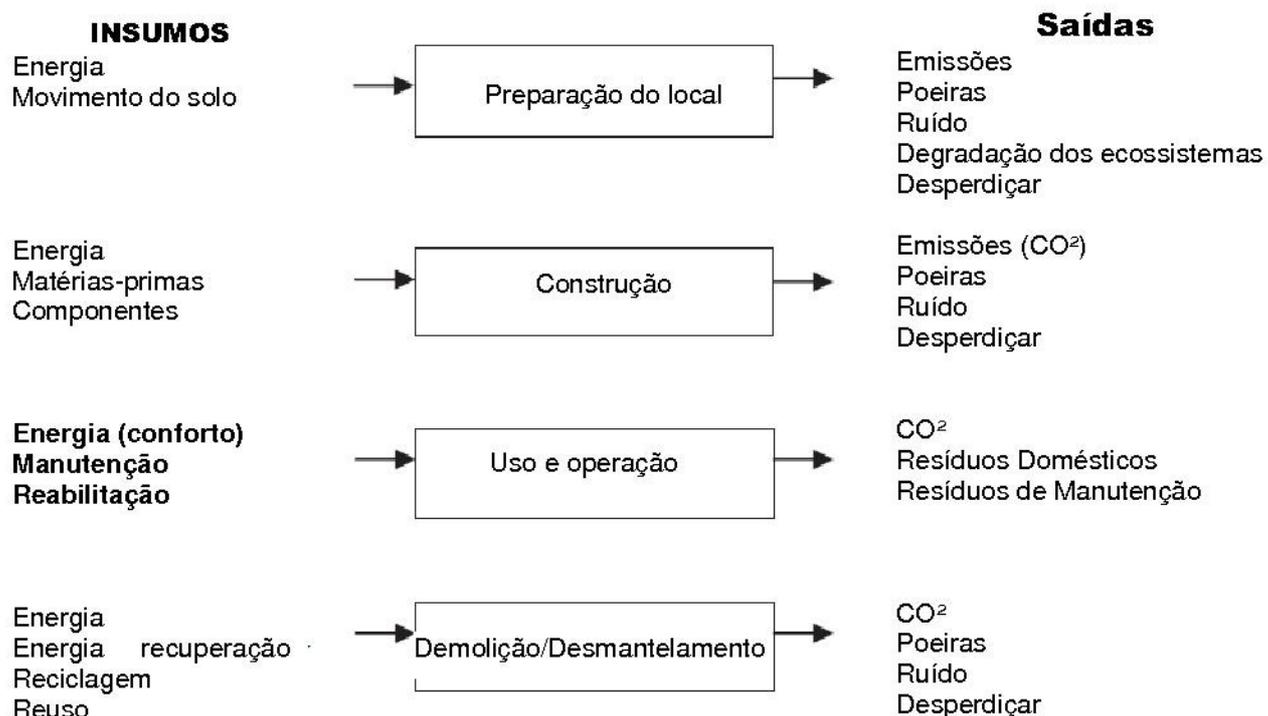


Figura 28 – Impactos ambientais nos edifícios no ciclo de vida.
Fonte: Adaptado de Couto e Mendonça, (2011).

É importante ressaltar, através da Figura 28, as definições das fronteiras para os fluxos de entradas e saídas, já que o ciclo de vida de uma edificação é um sistema complexo.

Para Ortiz-Rodriguez (2009), o método prático de ciclo de vida é uma solução para delimitar de uma forma mais efetiva os parâmetros de avaliação dos impactos ambientais. Esse método baseia-se na aplicação de duas ferramentas: avaliação do ciclo de vida e análise de materiais e energia avaliando o nível macro e micro. Em suma, enquanto que uma ACV avalia o ciclo de vida do sistema, a análise de materiais e energia (AME) possui uma visão sistêmica dos fluxos diretos e indiretos da utilização de recursos naturais. A avaliação da sustentabilidade a nível macro é determinada por variáveis exógenas que podem influenciar o desenvolvimento de um país. Variáveis exógenas são classificadas na esfera sócio-económica (ou seja, PIB, crescimento natural, taxa de emprego, etc), e esfera ambiental. O resultado deste nível é um indicador composto calculado através de um número limitado de fatores, considerando o social, económico e as condições ambientais no setor da construção residencial. A avaliação da sustentabilidade a nível micro é feita dentro dos limites da vida prédio inteiro ciclo, a partir da construção, utilizar (operação e

manutenção) e terminando com a fase fim-de-vida. A reunião destes aspectos apresenta uma avaliação completa inserida na perspectiva regional e com as limitações pertinentes a cada sistema, ressaltando a complexidade desse processo.

3.1 AS FASES DO CICLO DE VIDA DAS EDIFICAÇÕES

Para analisar as fases de uma edificação faz-se necessário visualizar as conexões com a cadeia de suprimentos da construção e definir as fronteiras. A partir desse levantamento de dados, é possível verificar o desmembramento e limitações de fases. Baseada e adaptada de um modelo de Ortiz-Rodriguez (2009), a Figura 29 apresenta as possíveis entradas e saídas com as suas respectivas fronteiras.

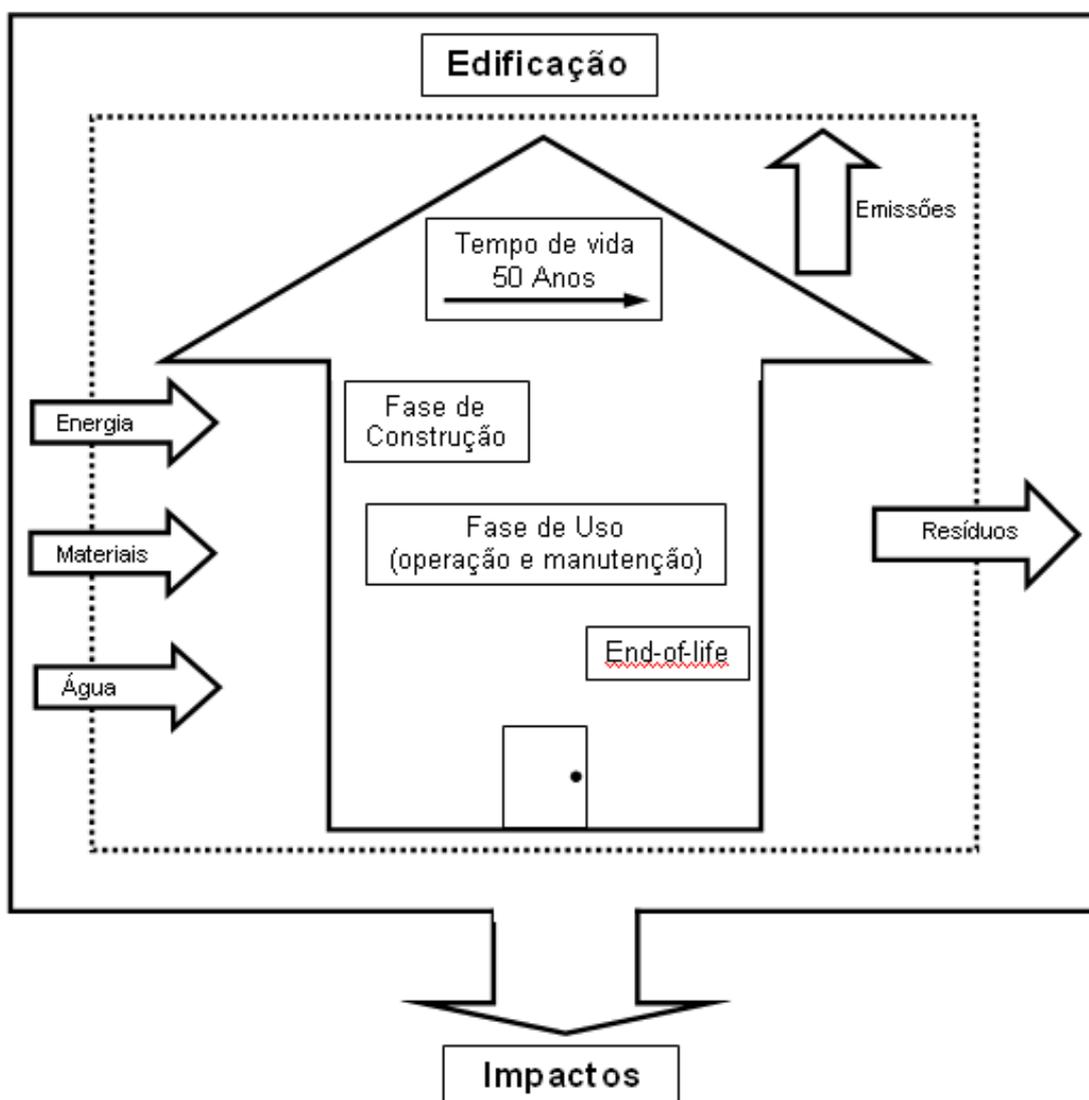


Figura 29 – Ciclo de vida de uma edificação com as entradas e saídas.
Fonte: Autor, 2012 (baseado em Ortiz-Rodriguez, 2009).

Entretanto, há sobreposições de algumas fases, devido aos processos de construção e suas especificações técnicas e regionais. A Figura 30 mostra as possíveis fronteiras do sistema relacionadas com as fases de uma construção.

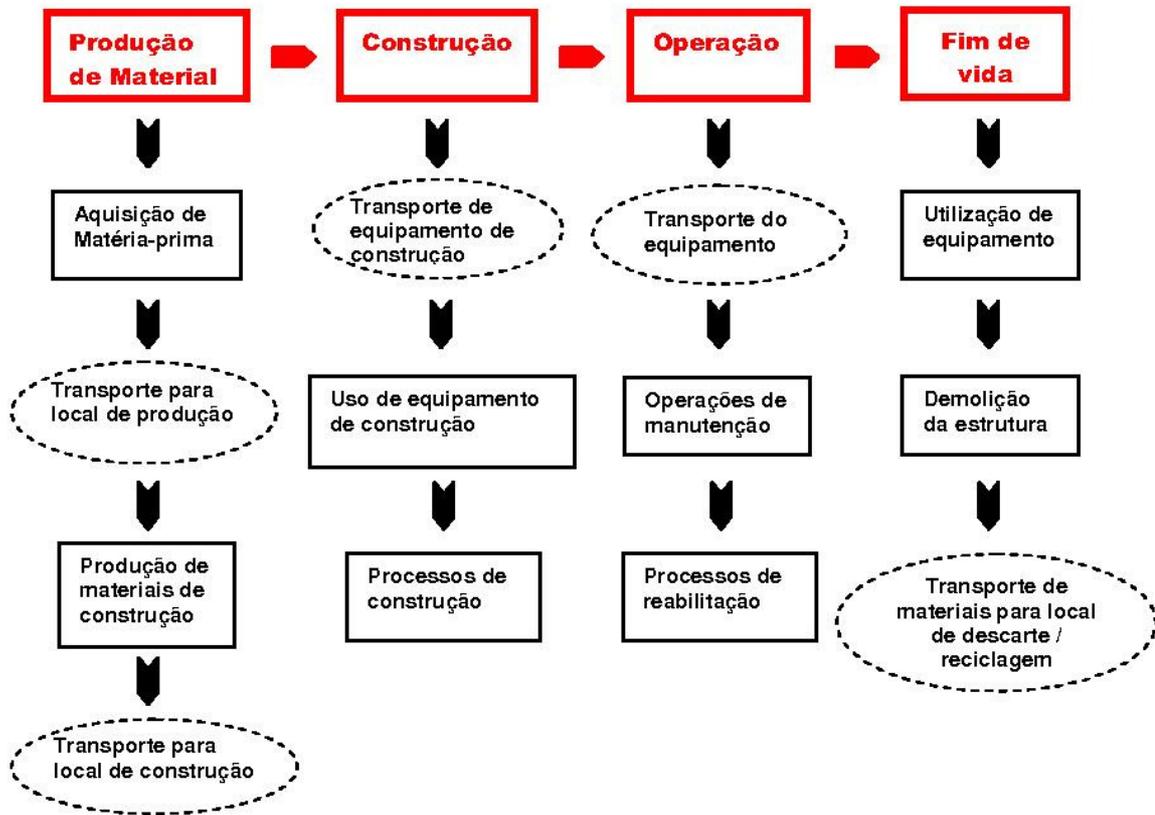


Figura 30 – Fronteiras do sistema de ciclo de vida.

Fonte: adaptado de GERVÁSIO, 2007.

A avaliação do desempenho ambiental de um edifício implica em tratar, analisar e delimitar as fronteiras quanto às informações em relação ao fluxo de recursos e emissões definidos pela implantação e orientação, processos, sistemas construtivos, materiais empregados, projeto, planejamento do uso e da operação, gerenciamento de resíduos de construção e demolição.

A pesquisa nesse estudo levanta soluções através da ACV para comparar os impactos ambientais dos diferentes materiais de construção, dos processos construtivos e da relação custo, tempo e conformidade. Então, para confrontarem dados e viabilizar a análise, foram adotadas regras de contorno pertinentes à realidade no Brasil com metodologias reconhecidas nas pesquisas mundiais sobre ACV.

O processo de desenvolvimento de um novo edifício é comumente referido como o processo de construção. Este processo é basicamente o mesmo em todos os lugares, mas os detalhes, subdivisões de fases e termos podem diferir de país para país (MALMQVIST, 2011).

Como será visto a seguir na Tabela 8, os estágios do ciclo de vida de uma edificação inclui, de acordo com a CEN TC 350 (2008), a fase de produto, a de construção, a de utilização e a do fim de vida.

Tabela 8. – Fases do ciclo de vida de um edifício sugerido na norma CEN / TC 350.

| Fase | Módulo |
|------------------------------|--|
| Fase do produto | Fornecimento de matéria-prima, transporte e processo de fabricação. |
| Fase do processo construtivo | Transporte, construção/instalação do canteiro de obras. |
| Fase de utilização | Manutenção, reparação e substituição, remodelação, uso operacional de energia: aquecimento, refrigeração, ventilação, água quente e iluminação; uso operacional de água. |
| Fase de desmobilização | Demolição ou desmantelamento, reciclagem/reutilização, disposição. |

Fonte: CEN TC 350, 2008.

3.2 CICLO DE VIDA DE UMA EDIFICAÇÃO

As fases do ciclo de vida de uma edificação, modelo genérico, podem ser analisadas como um processo apresentado na Figura 31.

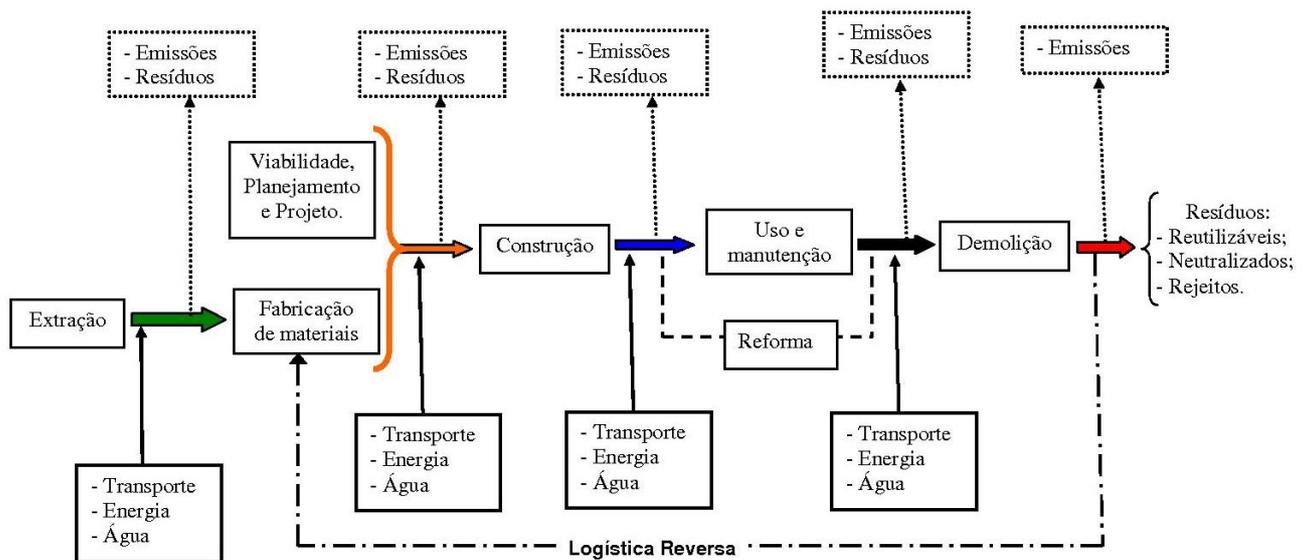


Figura 31 – Fases do ciclo de vida de edificações.
Fonte: Autor, 2012.

A Figura 31 descreve de forma sucinta as diversas fases do ciclo de vida de uma edificação típica no Brasil. Dentro de cada fase há subsistemas que englobam técnicas construtivas, materiais, pessoas, equipamentos e controle.

Os consumos em relação a Energia, transporte e água estão presentes ao longo de todo ciclo de vida. No Brasil, a energia elétrica é gerada, em sua maioria, por hidrelétricas (cerca de 74% - BEN, 2012), sendo uma atividade com aproveitamento do ambiente que em determinados casos, com estudos abrangentes, com baixos impactos ambientais.

O transporte no Brasil é feito geralmente por veículos automotivos alimentados por combustíveis fósseis como gasolina e diesel. Combustíveis menos agressivos ao meio ambiente com baixas emissões, como o álcool (produzido a partir da cana-de açúcar) e o biodiesel (mamona, soja) ainda representam uma pequena parcela do consumo, devido à competição no mercado internacional do preço da matéria-prima como o álcool (cana-de açúcar) e problemas na produção como o biodiesel.

A água ainda é um insumo de baixo custo no Brasil. Porém os números do desperdício são muito altos. Cerca de 40% da água tratada no país é perdida por vazamentos, roubos, erros de medição, entre outros. Na construção civil, as iniciativas para o controle do consumo de água ainda são muito tímidas, tendo em

vista que o Brasil é o país com a maior disponibilidade de água potável do planeta. Nos serviços de construção civil, embora a água não seja vista e nem tratada como material de construção, o consumo é bastante elevado, por exemplo, para a confecção de um metro cúbico de concreto, se gasta em média de 160 a 200 litros.

No final de vida da edificação há muitas decisões importantes a serem tomadas, que inicia com a definição da demolição até o destino dos resíduos. As opções de destinação dos resíduos variam de acordo com a região do país, já que existem poucas centrais para seleção e tratamento no território nacional. E também, a pesquisa por soluções com grandes distâncias pode ocasionar maiores impactos devido as emissões gasosas. No Brasil, ainda não há um controle específico para as emissões durante as fases do ciclo de vida, porém existem certificações para as edificações, como o LEED, que visam esses objetivos.

A utilização da logística reversa na construção civil ainda é um assunto relativamente novo e pouco aplicado no país. No entanto, há iniciativas para disseminar essas práticas observando a perspectiva econômica em reutilização de materiais e principalmente a ambiental.

A complexidade e a incerteza dos resultados da ACV, principalmente no Brasil, são muitas vezes vistas como as principais barreiras ao seu uso mais freqüente em construção. Isso se deve a diversas atividades, fluxos, materiais, normas e elementos de uma edificação que formam um sistema intrincado com vários subsistemas. É inevitável o uso de dados não compatíveis com as características reais do Brasil, dada a falta do banco de dados nacional, e por consequência pode haver uma redução da confiabilidade dos resultados. No entanto, estimativas dos impactos ambientais sobre o ciclo de vida são ainda melhores do que ignorar esses impactos. Nos itens a seguir, serão verificados os aspectos ambientais gerados em todas as fases do ciclo de vida.

3.2.1 Fase de produção de insumos

Dentro da indústria da construção há subsetores formados por agentes de diferentes portes e especificações que convergem no fornecimento de insumos ao longo de uma construção.

As empresas fornecedoras de materiais para a indústria da construção civil são, em sua maioria, classificadas como pequenas e médias organizações e possuem diferentes estágios de desenvolvimento tecnológico. Muitas delas não possuem políticas ambientais e nem avaliações com indicadores sustentáveis. Há algumas empresas de grande porte, como as produtoras de cimento e aço, que são alcançadas mais facilmente pela legislação. Porém, em sua maioria, as empresas são de pequeno porte, como as olarias e as de extração de areia, que possuem atividades e operações informais. Dessa forma, há um grande consumo de recursos naturais sem planejamento, processos inadequados que produzem resíduos, perdas e muitas vezes maior consumo de energia pelo método de baixa tecnologia e muitas irregularidades com danos sociais, econômicos e poluentes.

Outro fator importante é o transporte, que viabiliza essa primeira fase. No Brasil, a maior parte do transporte é realizada por malha rodoviária, o que traz diversos impactos a serem avaliados. Os veículos motorizados consomem recursos e produzem resíduos oleosos, oriundos do consumo de energia e lubrificação. Os pneus utilizados também necessitam de uma logística reversa adequada para não degradarem o meio-ambiente. O ar é contaminado por gases e fuligem. E, finalmente, o custo é maximizado por perdas, taxas, pedágios, impostos e manutenções.

3.2.2 Fase de planejamento e projeto

Nessa fase, há uma preocupação com as decisões tomadas para alcançar metas e custo. Contudo, essa fase tem uma grande importância nas próximas da ACV. Muitos parâmetros escolhidos nesse estágio trarão consequências na magnitude dos impactos.

É também nessa fase que se faz a escolha de materiais e escolha de tecnologias. Faz-se necessário conhecer o conceito de desempenho e durabilidade de um material para que haja uma consistente escolha e correto emprego na obra, pois desta forma há um aproveitamento da vida útil do material, dentro de um sistema de manutenção. Segundo de Souza & Ripper (1998), entende-se por durabilidade o parâmetro que relaciona a aplicação das características de deterioração do material a uma determinada construção, particularizando-a pela

avaliação da resposta que dará aos efeitos da agressividade ambiental, e definindo, então, a vida útil da mesma.

O desenvolvimento de projetos no contexto atual, com um mercado altamente competitivo, prazos limitadíssimos, preocupação com custos finais imediatos e não com custo benefício ou ao menos custos a longo prazo (fazer para vender), maximização de lucros (ou minimização de prejuízos), entre outros fatores característicos do modo de vida contemporâneo, determinam ou formatam a qualidade final do produto derivado do projeto e recursos limitados para reinvestimento e recursos limitados para reinvestimento no processo de desenvolvimento, como por exemplo na capacitação de pessoal, aquisição de aplicativos, modificação de processos de trabalho e certificações.

O tempo dedicado à confecção dos projetos e suas especificações deve ser valorizado, pois as decisões tomadas nesse período podem evitar deficiências e desperdícios presentes na execução, obtendo um melhor desempenho do produto final.

Os arquitetos, consultores, engenheiros e pesquisadores são os principais profissionais que podem fazer opções que viabilizam os aspectos ambientais nos seus projetos. Eles podem trabalhar para equalizar todos os itens de ecoeficiência, estudando a forma arquitetônica, os materiais a serem utilizados, o tratamento das superfícies envidraçadas e das proteções solares externas, a orientação solar adequada, o aproveitamento da luz e da ventilação naturais, sistemas para uso racional da água, materiais de baixo impacto ambiental e o emprego de tecnologias limpas (GELINSKI, 2006).

Apesar dos desafios para viabilizar medidas ambientais, é relevante verificar que um bom projeto deve considerar não só esses aspectos, mas também os requisitos típicos de prestação de serviço, tecnológicos, econômicos, legais, culturais e estéticos (CAMPOS, 2007).

Decisões e escolhas para especificar tecnologias e materiais adequados, inclusive para os projetos complementares, também é muito importante. Segundo Klein (2002), materiais como telhas de fibrocimento, carpetes de tecido e tintas à base de solvente, podem comprometer a qualidade do ar interior de uma edificação.

Tecnologias, materiais e técnicas construtivas que permitem a redução de consumos e de resíduos, a fácil manutenção, o desmonte e, ainda, o aumento da vida útil da edificação, são as ideais. A convergência nas decisões, entre os profissionais que escolhem as técnicas construtivas, beneficia o projeto impactando a sua vida útil. Um concreto protendido ou de alta resistência, por ser menos poroso (a armadura fica mais protegida), possibilita aumento de vida útil da fundação e da estrutura, além de economia de materiais devido a seções menores dos componentes da estrutura. Contudo, a viabilidade técnico-econômica de um concreto protendido deve ser estudada para sua aplicação.

Então, um projeto com um detalhamento cuidadoso e um bom planejamento reduz custos, perdas e viabiliza uma boa utilização do produto final.

Nesta fase também existem impactos como as emissões de efluentes líquidos no local onde se está a desenvolver o projeto, emissões de poluentes associados ao transporte e deslocações com o levantamento de dados, e, consumos e emissões associadas à operação dos escritórios onde esta ocorrendo esta etapa, em relação a fluxos energéticos e de água.

3.2.3 Fase de construção

O arranjo estrutural e o método construtivo variam com o tipo de empreendimento, recursos e região. Pode haver variantes devido ao material empregado ou disponível.

Nessa fase considera-se para impactos ambientais o transporte de materiais de construção para a obra (emissões), os materiais (insumos consumidos), a energia consumida pelas máquinas, utilização de recursos, como água, e a eliminação de resíduos.

A fase de execução de um empreendimento merece atenção especial por sintetizar a sua concepção e projetos. É o momento onde os maiores impactos são gerados e o local onde os diversos componentes da indústria da construção mais interagem entre si (GEHLEN, 2008). Dentro dessa perspectiva, observa-se o papel importante do canteiro de obras na gestão de sustentabilidade, pois é a oportunidade de disseminar conceitos e princípios de sustentabilidade por toda a

cadeia de suprimentos, como o melhor aproveitamento de materiais, energia e água, bem como a aplicação de diretrizes de reciclagem.

A NR-18 (2010) define canteiro de obras como área de trabalho fixa e temporária, onde se desenvolvem operações de apoio e execução de uma obra. Um canteiro de obras é uma estrutura dinâmica e flexível, que durante o desenvolvimento da obra assume características distintas em função da localização, dos operários, das empresas, das características climáticas, dos materiais e dos equipamentos. A seqüência de execução também varia conforme o planejamento, podendo existir várias frentes de serviço atuando ao mesmo tempo. Entende-se então a importância do planejamento e controle num canteiro, já que os recursos são transformados e utilizados, gerando impactos ambientais (resíduos, efluentes, emissões), sociais (renda, acidentes de trabalho, informalidade) e econômicos (produto final).

A etapa de execução da obra possui subetapas do processo como planejamento, serviços preliminares, execução dos projetos (fundações e estrutura, alvenarias, cobertura, pisos, instalações prediais, revestimentos, impermeabilização, esquadrias, serviços externos) e entrega da obra.

Em todas essas subetapas há uso de materiais auxiliares, como madeira, plástico, exigindo um eficiente cronograma de atividades, operações e destinação de materiais.

3.2.4 Fase de uso, operação e manutenção

A fase de uso geralmente engloba o consumo de energia, de água e serviços que consome recursos (paisagismo, limpeza,...). Há uma grande geração de resíduos que se perpetuam ao longo da vida útil de um empreendimento, que, no Brasil, possui uma expectativa de vida de pelo menos 50 anos para concreto armado. Explica-se, dessa forma, a convergência dos autores em atribuir os maiores impactos e geração de resíduos à fase de utilização da construção (KOTAJI et al, 2003; RAJAGOPALAN, 2007; ORTIZ-RODRIGUEZ, 2009; ORTIZ et al, 2009; MALMQVIST, 2011).

Rajagopalan (2007) cita a conclusão de um estudo europeu em que a fase de utilização domina em emissões, contribuindo com 50% a 90% das emissões totais. As próximas fases com maior emissão são materiais e manutenção.

Os impactos ambientais também podem variar de magnitude de acordo com o país e o clima, devido a aquecimento e consumo. O acesso a tecnologia, a cultura e nível sócio-econômico também são fatores que mudam de acordo com o local de estudo (ADETUNJI, 2008).

A fase de manutenção normalmente vai incluir os elementos de todo o ciclo de vida de um empreendimento. Dependendo do escopo do estudo, a construção de modernização ou quaisquer outras medidas de melhoria podem ser inclusas ou omitidas.

Os danos, que são acarretados por diversos fatores ao longo da vida da edificação, podem ser impedidos ou antecipados com um plano de uso adequado e um planejamento de manutenção. Ao longo do uso surgem necessidades como recuperação de revestimentos, trocas de instalações, resultante em manutenções constantes, que geram novos consumos e resíduos. Verificam-se então projetos que possam ter flexibilidade de remodelagem e/ou adaptações tecnológicas para um maior tempo de uso.

A agenda 21 do CIB (2002) observa que estimular a durabilidade de novas edificações faz parte das preocupações em muitos países como um meio de controlar a ocupação do solo e conservar espaço. As pesquisas em tecnologia das construções têm um papel estratégico na conservação e durabilidade dos recursos utilizados, viabilizando práticas sustentáveis.

3.2.5 Fase de fim de vida, demolição e desmantelamento

O final da vida da construção ou da fase de desmobilização inclui todas as atividades no local de desmontagem ou demolição (geração de entulhos e ruídos), o transporte de materiais de construção descartados, recuperação e transporte de materiais de construção para um local de reciclagem e/ou aterro sanitário.

A etapa de demolição ou desmantelamento tem recebido um maior destaque nos últimos anos, dada aos estudos que avaliam os muitos impactos que os resíduos da construção (construção e manutenção) e demolição (fim de vida) gerados exercem sobre o ambiente. Atualmente, na literatura, esses resíduos também são conhecidos como RCD, ou seja, resíduos da construção e demolição. Outros impactos gerados resultam de consumos de energia e queima de combustíveis associados à operação de maquinaria, bem como vibrações, ruídos e emissões de material particulado aquando do acto da demolição (HENRIQUES, 2008).

Os volumes dos resíduos e dos impactos gerados nessa fase podem variar conforme o tipo de demolição definida. No Brasil, existem três tipos gerais para demolição: manual, mecânica e expansão.

A demolição manual é realizada por alavanca manual com ferramentas: martelo, cinzel e marreta. A demolição mecânica é efetuada totalmente por máquinas não portáteis. A demolição mecânica pode ser executada por tração (tratores de pequeno porte), compressão (tratores, pás mecânicas e retroescavadeiras), queda de massa suspensa (bola de aço pendurada) e por máquinas hidráulicas. A demolição por expansão mais utilizada é por explosivos que ainda se divide em subtipos: telescópio (estruturas leves e ocas), derrube (o valor da relação altura x base é alto), implosão (mais utilizada para casos gerais) e colapso progressivo (edifícios contíguos ou com extenso comprimento).

Após a demolição, se faz a triagem de materiais para seleção e classificação dos resíduos para as possíveis destinações como reuso, reciclagem e etc.

Segundo Degani (2007), valorizar a fração de resíduos reaproveitável consiste em re-introduzir os resíduos gerados, na sua totalidade ou parcialmente, de volta ao mercado. Existe uma classificação para revalorização do material conforme as finalidades:

- Reuso: mesma utilização da primeira aplicação;
- Reutilização: uso diferente da primeira aplicação;

- Reciclagem: Re-introdução direta do material em seu próprio ciclo de produção, substituindo total ou parcialmente a matéria prima nova;
- Regeneração: repor ao resíduo as suas características originais que permitam a sua utilização em substituição a uma matéria prima nova;
- Revalorização energética (por incineração): recuperação das calorias por combustão;
- Revalorização orgânica (ou compostagem): fermentação dos resíduos orgânicos e minerais.

Conforme Beiriz (2010), a ausência, ou até mesmo ineficiência, de políticas públicas que contemplem os resíduos sólidos urbanos tem contribuído para o agravamento dos problemas urbanos e propiciado contaminação ambiental. Dentro dessa esfera, vale ressaltar a existência de um mercado informal na coleta e disposição dos resíduos de construção. As pessoas que fazem parte desse mercado, geralmente, possuem baixo nível educacional e não conhecem os impactos ambientais e os riscos inerentes a essa atividade.

Um exemplo de graves conseqüências dessas atividades informais é o acidente radioativo em Goiânia, em 1987. Um equipamento deixado no hospital foi encontrado por catadores de um ferro velho do local, que entenderam tratar-se de sucata num desmantelamento da edificação. O equipamento foi desmontado e repassado para terceiros, gerando um rastro de contaminação com o Césio-137, o qual afetou seriamente a saúde de centenas de pessoas.

Geralmente os resíduos de construção e demolição possuem composição variável. A geração depende muito do projeto do empreendimento e das tecnologias utilizadas.

Particularmente os resíduos de construção e demolição, não estavam subordinados a nenhuma legislação, até a Resolução nº. 307 do CONAMA, em 2002, que exige ações necessárias e responsabilidades dos geradores dos resíduos para destinação e reciclagem. A resolução estabelece, ainda, que os grandes geradores tenham como objetivo principal a não geração de resíduos e,

posteriormente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final adequada (TESSARO et al, 2012).

Os resíduos da construção civil devem ser classificados, segundo efeito dessa resolução e conforme a Resolução do Conama no 431, em Resíduos Classe A, B, C ou D, detalhado na Tabela 9.

Tabela 9. – Classificação dos resíduos conforme as resoluções do CONAMA nº 307 e nº 431.

| Classes | Integrantes predominantes considerados na composição gravimétrica |
|----------------|--|
| A | Resíduos recicláveis, como agregados, tijolos, blocos, telhas, argamassa, concreto, areia e pedra |
| B | Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso |
| C | Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem ou recuperação |
| D | Resíduos perigosos como tintas, solventes, óleos e amianto (contaminados) |

Fonte: BRASIL (2002, 2011).

Conforme o avanço das pesquisas e tecnologias, as resoluções são atualizadas com os processos de reciclagem disponíveis. Por exemplo, CONAMA nº 431, de 24.05.2011, que altera o Art.3º da Resolução nº 307/2002, do CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso na Classe “B” – resíduos recicláveis para outras destinações.

O artigo dez da Resolução CONAMA (CONAMA 307, 2002) classifica os vários tipos de resíduos da construção civil além de estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, os entulhos os destinos dos resíduos de construção civil pelas suas respectivas classes.

Os resíduos de classe A deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.

Os resíduos de classe B deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.

Os resíduos de classe C são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso. Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Os resíduos de classe D são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Para que um resíduo tenha destino adequado, é necessário que ele seja classificado de acordo com as especificações técnicas conforme as normas brasileiras. A NBR 10.004 – Classificação de resíduos (ABNT, 2004) classifica os resíduos em três classes:

a) Classe I – perigosos: aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública por meio do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

b) Classe II A – não-inertes: resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações dos outros resíduos.

c) Classe II B – inertes: aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente, e que, quando amostrados de forma representativa, segundo a norma NBR 10.007, (ABNT, 2004) e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura

ambiente, conforme teste de solubilização segundo a norma NBR 10.006, (ABNT, 2004) não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, conforme listagem n.º 8 (Anexo G da NBR 10004, ABNT, 2004), excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

Essa classificação baseia-se na presença de certas substâncias perigosas, relacionadas na norma, e em testes laboratoriais complementares, nos quais vários parâmetros químicos são analisados nos extratos lixiviados e solubilizados dos resíduos.

O processo de reciclagem também necessita de atenção por gerar impactos, como o consumo de energia e recursos. A busca por soluções que integrem o reuso, a reciclagem e a logística reversa visa adequar a fase final do ciclo de vida de uma construção dentro dos parâmetros de sustentabilidade.

As atividades de reciclagem podem fazer parte de todas as etapas da vida de um edifício, visando os parâmetros de sustentabilidade. Durante a fase de produção de material, muitos produtos de construção e montagens podem conter conteúdo reciclado e devem ser contabilizados no cálculo dos impactos. Muitos resíduos produzidos durante a construção também podem ser reciclados. Durante a manutenção, os materiais substituídos podem ser reutilizáveis ou direcionar novas opções de materiais com as mesmas funções, porém suas composições causam menor impacto.

Nos últimos doze anos, como decorrência da Política Nacional de Saneamento e mais recentemente da Política Nacional de Resíduos Sólidos, os municípios brasileiros receberam investimentos do governo federal para implantação de usinas de reciclagem de resíduos sólidos. Contudo, das 52 usinas aprovadas para construção, 10 estão desativadas, 30 estão operando, 5 estão paralisadas e 7 estão instalando.

Uma usina básica para a reciclagem de resíduos de construção e demolição é constituída por: alimentador vibratório, britadores, transportadores de correia e peneira classificatória (os quais devem ser dimensionados ao volume a ser processado), e, caso seja necessário, equipamento para lavagem dos agregados

reciclados. A implantação de uma usina básica, com equipamentos novos, fica em torno de R\$ 1 milhão para um processamento a partir de 50 toneladas por hora, incluindo infraestrutura de construção civil. Utilizando equipamentos usados, o valor pode cair para R\$ 600 mil e uma usina de última geração, com tecnologia importada, pode chegar a R\$ 3 milhões (Visão Ambiental, 2009).

Com práticas construtivas mais sustentáveis e atividades de reciclagem ao longo do uso de uma edificação, o volume de resíduos poderia ser minimizado no fim de vida, reduzindo os custos de implantação e operação de usinas, haja vista os investimentos necessários para uma estrutura básica.

Conforme Bayer et al (2010), durante a fase de demolição, que representa a maior parte dos resíduos produzidos na vida de um edifício, a maioria dos resíduos de construção pode ser reutilizada ou reciclada. As atividades de reciclagem nesta fase podem trazer resultados de grande redução no impacto global de uma edificação. A integração das tecnologias atuais no setor de reciclagem pode resultar em uma melhor avaliação de impacto ambiental, numa destinação, que pode ser um aterro ou a incineração, comparando com as distâncias de transporte para as diferentes opções, considerando o consumo de combustível fóssil, fuligem e possíveis emissões.

3.3 INTER-RELAÇÃO DAS FASES DA ACV NAS EDIFICAÇÕES

Através da observação de que muitos processos e recursos ultrapassam as fronteiras das fases da ACV de um empreendimento, verifica-se a necessidade de tecnologias inovadoras e planejamentos adequados à cadeia construtiva.

Uma gestão eficiente da cadeia de suprimentos e empresas comprometidas com princípios sustentáveis pode trazer grandes avanços na gestão sistêmica na indústria da construção. Não basta que as empresas comprem materiais de reuso, mas é necessário verificar a origem dos produtos de todos os seus parceiros e fornecedores.

A mudança de paradigma quanto ao tempo gasto na fase de projeto pode causar um grande impacto na fase de uso, onde há o maior consumo de recursos em todo ciclo de vida. Programar empreendimentos para futuras modelações e

prever o fechamento do ciclo de materiais no final da vida de um empreendimento sugere aplicações viáveis da ACV, construções com impactos ambientais moderados e desenvolvimento sustentável na indústria da construção.

3.4 BANCOS DE DADOS E FERRAMENTAS PARA A ACV

A ACV é uma ferramenta recente e complexa que envolve muitos dados, exige dedicação ao estudo. Então, buscam-se metodologias, parâmetros normatizados, banco de dados e aplicativos para o auxílio da pesquisa e maior credibilidade dos cálculos.

Nos últimos anos, surgiram muitas ferramentas e bancos de dados para a avaliação do ciclo de vida, porém há especificações no uso, setor e análise. Dessa forma, optou-se nesse estudo apresentar as ferramentas pertinentes ao setor da construção e já avaliadas em práticas em alguns países com dados coletados através da pesquisa.

Há diferentes diretrizes nas avaliações como o projeto de construção ENSLIC, que foi co-financiado pela Comissão Européia do Programa de Energia Inteligente para a Europa e por nove organizações européias que incluiu mais de 15 especialistas em ACV e arquitetos. As diretrizes ENSLIC são dirigidas a profissionais que trabalham no início da fase do projeto de desenvolvimento da construção ou remodelação de projetos que querem realizar economia de energia e melhorias ambientais em relação a toda vida útil do edifício (MALMQVIST, 2011).

Segundo Ortiz et al (2009), em relação à metodologia, diversas ferramentas para ACV foram desenvolvidas e disponibilizadas para uso em ambiente de avaliação. Estas ferramentas foram classificadas de acordo com três níveis. O nível 3 é chamado de “avaliação de prédio inteiro estrutura ou sistemas” e consiste de tais metodologias como BREEAM (UK), LEED (EUA), SEDA (Aus). O nível 2 é intitulado “decisão de projeto ou ferramentas de apoio à decisão” e usa LISA (Aus), Ecoquantum (NL), Envest (UK), ATHENA (Canadá), BEE (FIN). E, finalmente, o nível 1 é para ferramentas de comparação de produtos e inclui GaBi (GER), SimaPro (NL), TEAM (Fra) LCAiT (SE).

Os estudos no desenvolvimento de aplicativos em ACV têm evoluído bastante nos últimos dez anos. Há muitas opções no mercado para atender os setores e com características particulares para atender aos diferentes objetivos, fronteiras, análises e usuários.

Segundo Bayer et al (2010), uma ferramenta de ACV pode ser definido como um software de modelagem ambiental, que utiliza e/ou desenvolve e/ou apresenta um inventário do ciclo de vida (ICV) e a avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV), que busca resultados através de um rigoroso processo de análise que segue de perto a normas ISO. A mais básica ferramenta de ACV possui insumos em forma de material (em área ou volume) e converte os mesmos em massa. Em seguida, atribui este valor de massa para os dados do inventário do ciclo de vida (ICV) disponíveis a partir de um banco de dados e de outras fontes. Esta etapa resulta em quantidades de entradas e saídas de um sistema de produto. As entradas e saídas podem incluir a utilização dos recursos e emissões para o ar, água, e terras associadas com o sistema. Figura 32 mostra a configuração básica de uma ferramenta para a ACV de edificações.

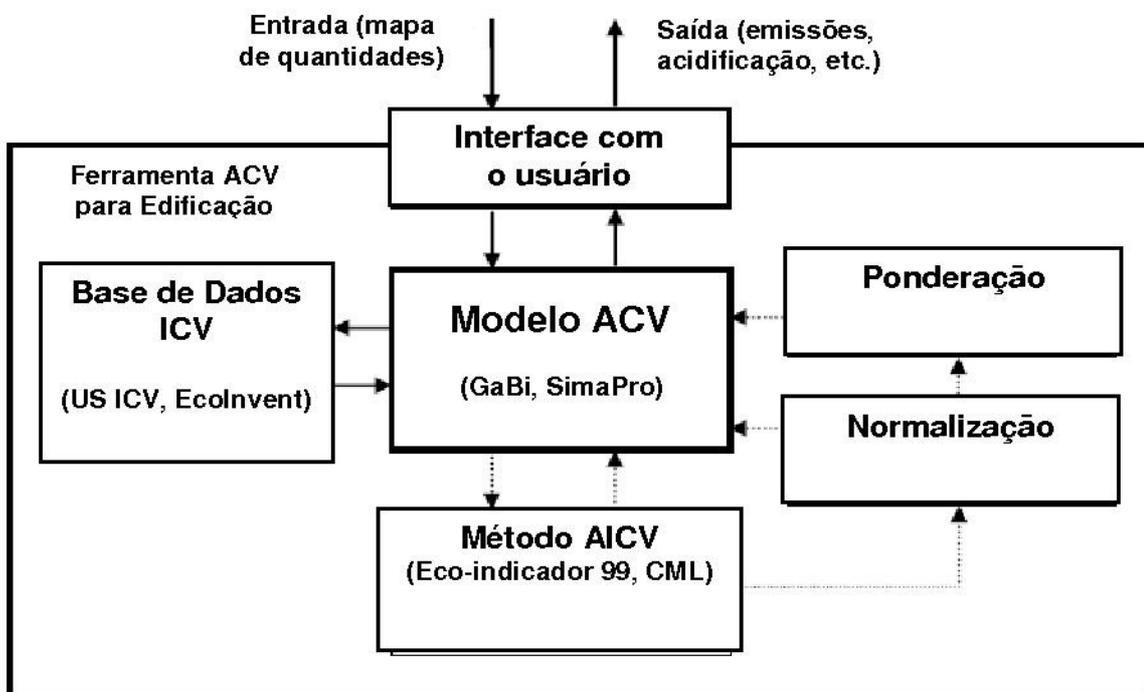


Figura 32 – Configuração típica de uma ferramenta de ACV para edificação.
Fonte: adaptado de BAYER, 2010.

Ferramentas de ACV podem ser classificadas com base em sua capacidade de analisar os sistemas de construção (para a construção de ferramentas específicas), baseados em características locais de suas origens (países, continente) e com base na habilidade do usuário necessário para usar a ferramenta (para todas as ferramentas).

Algumas ferramentas de ACV têm um banco de dados bloqueado para edição e não são compatíveis com outros bancos de dados ou para outros aplicativos. Esses bancos de dados, geralmente, são ferramentas específicas para regiões ou países. Por exemplo, o ATHENA, Estimador de Impacto, é um aplicativo para ACV e possui um banco de dados com características dos EUA que são específicas para a América do Norte (BAYER, 2010). No momento, ele só pode ser usado para a construção nos Estados Unidos e Canadá. Outras ferramentas, como SimaPro e GaBi, são adaptáveis em suas ligações aos bancos de dados diferentes e, portanto, não são específicas de uma região. No entanto, as operações dos aplicativos mais abrangentes são complexas e requerem um longo estudo e treinamento, inclusive por especialistas da área do objeto da ACV.

Ferramentas mais acessíveis para usuários em geral têm a aplicação da ACV em segundo plano, como o software CesEduPack que possui como função principal as características físico-químicas e mecânicas dos materiais. Nesse caso, a ACV fica limitada a modelagem pré-definida do software, não oferecendo flexibilidade para o tipo de construção e insumos. O software Invest também possui como função principal a análise do custo em construção. Na maioria desses softwares, a base de dados está bloqueada e não pode ser alterado pelo usuário para se adequar às características do local do estudo. Estas ferramentas têm uma interface amigável em que o usuário é solicitado para as entradas e não precisa estruturar a análise. A ferramenta pode pedir para uma região, local da construção, para determinar aspectos como rede elétrica, fonte de produtos de construção, e os modos de transporte e distâncias. É essencial para o utilizador compreender o funcionamento básico da ferramenta para ter uma ideia sobre a precisão dos resultados esperados.

Há ainda ferramentas, como o software LCA Manager, que podem servir apenas para montagem do sistema, precisam ser alimentadas por alguma fonte de

dados com arquivos com extensão compatível, só permitem um método de análise (CML, Eco-Indicador,...) e efetuam os cálculos, sem análises de sensibilidade. Ou possuem um banco de dados com limitações de características dos materiais e métodos construtivos, como o software LISA. São ferramentas simplificadas com objetivos direcionados e os usuários precisam conhecer suas aplicações e limitações.

Entre as principais ferramentas de ACV de materiais com aplicação para edificações estão SimaPro, GaBi, TEAM e o UMBERTO. Entre as ferramentas específicas para edificações, estão o BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability) e o ATHENA, que são usados nos Estados Unidos com as suas bases (MOTTA, 2009).

O software BEES tem conseguido resultados muito próximos das características reais da construção nos Estados Unidos, no entanto a particularidade dessa indústria exclui a aplicação desse software em outros países. A indústria da construção nos Estados Unidos é altamente industrializada e padronizada diferindo do perfil da indústria no Brasil.

As ferramentas, o SimaPro e o GaBi, são consideradas completas na adaptação de qualquer ciclo de vida e porque possuem simulação para a análise de sensibilidade. Esses softwares costumam entender a ACV como processos e fluxos com entradas e saídas, com mecanismos de cálculos e parâmetros não informados pela empresa criadora. Essas ferramentas necessitam de infraestrutura de hardware e rede, pois possuem características volumosas em cálculos para simulação. Um dos desafios desses aplicativos é a sua complexidade para alimentação e operação de dados, permitindo distorções na entrada de dados e por consequência nos resultados. Entende-se então que existe uma necessidade primária em relação aos dados, ou seja, verificam-se uma organização, seleção e classificação dos dados para obter confiabilidade dos resultados.

O custo elevado de aplicativos ditos “completos” como o SimaPro dificulta o conhecimento e o desenvolvimento de modelagens computacionais da ACV. Por isso, o usuário deve conhecer as especificações técnicas, o necessário suporte tecnológico, as vantagens e as limitações de um aplicativo para ACV dado o seu

custo de compra e adicionais pacotes de atualizações, treinamentos e ferramentas adicionais.

Outras ferramentas: EcoCalculator e o EIO-LCA podem ser usados nos EUA e estão ligados a fontes internas de dados. Há também disponíveis: EQUER, LCAid, Eco-Quantum, LISA, Envest, LCAit, PEMS, SIB LCA e Boustead. A Tabela 10 apresenta as principais ferramentas disponíveis com as utilizações em áreas, métodos e características gerais. As marcações em x representam a presença do item.

Tabela 10. – Ferramentas para Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

| Ferramentas | Aplicação ACV | | | Categorias de Impacto | | | | | | | | | Banco de Dados | | Métodos | | | País de origem | |
|-------------|---------------|-------------|------------|-----------------------|--------------------|----------------|------------------|------------|---------------|-----------------|------------------|--------------|----------------|------------------------|---------------|------------------|------|----------------|------------|
| | Materiais | Edificações | U so geral | Gás e feito estufa | Consumo de Energia | Poluição do ar | Camada de ozônio | Toxicidade | Poluição água | Consumo de água | Resíduos sólidos | Acidificação | Possui | Independente/ Editável | CML | Eco Indicador 99 | EDIP | | TRACI |
| ATHENA | x | x | | x | x | x | | x | x | | x | x | x | | | | | x | Canadá |
| BEE3 | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | | | | | x | EUA |
| Boustead | | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | | x | Inglaterra |
| GaBi | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | | Alemanha |
| LCAid | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | | Não informado | | | | Austrália |
| PEMS | | | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | | | Não informado | | | | Inglaterra |
| SimaPro | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | Holanda |
| TEAM | | | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | | | | | | França |
| UMBERTO | x | | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | | x | | x | x | Alemanha |
| LCA IT | | | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | | x | x | | | Suécia |
| Envest | | x | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | | | | | | Inglaterra |
| LCA Manager | x | | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | | | x | x | x | | Espanha |
| CES EduPack | | | x | x | x | x | | | | | | | x | | Não informado | | | | Inglaterra |
| LISA | x | x | | x | x | x | | | | x | | x | x | | Não informado | | | | Austrália |

Fonte: Autor, 2012.

A base de dados dessas ferramentas fornece todos os dados referentes às características da extração, fabricação e uso desses materiais. Os dados foram pesquisados nos setores específicos e suas características físicas, químicas e mecânicas foram analisadas e calculadas.

Alguns bancos de dados utilizados para a avaliação ambiental são: CML, DEAM TM, Ecoinvent Dados, GaBi 4 Professional, IO-banco de dados para Dinamarca 1999, SimaPro banco de dados, o Modelo BOUSTEAD 5.0 e banco de dados de inventário de ciclo de vida dos Estados Unidos (CENTRE FOR DESIGN

AT RMIT, 2001; ERLANDSSON et al, 2003; FORSBERG et al, 2004; LARSSON, 2006).

A utilização dos bancos de dados e aplicativos citados varia de acordo com usuário, aplicativos, escopo e localização geográfica. A maioria dos dados representa as condições geográficas, ambientais, sociais e econômicas em países desenvolvidos; acervos de dados oriundos de países em desenvolvimento ou emergentes ainda estão em construção (HERTWICH, 2005; ORTIZ et al 2009).

Para ilustrar a informação que contém nos bancos de dados, basta observar a extração e fabricação dos elementos de um tipo de cimento. As particularidades de impacto, de custo e de emissões desse insumo podem variar com a disponibilidade dos recursos naturais do país ou até mesmo com o grau de industrialização.

Segundo Rodrigues et al (2008), na Suíça, as empresas começaram a utilizar a Avaliação do Ciclo de Vida nos anos 80. Em meados da década de 90, este país resolveu organizar a atividade, começando pela montagem de um banco de dados único para o inventário, pois havia várias instituições com diferentes bancos. Surge então o Ecoinvent, o inventário pronto foi divulgado em 2003. O investimento total foi de 1,15 milhões de euros, a maior parte vinda do setor público, governo e suas instituições e agências. O acesso ao banco de dados do inventário é pago. O inventário tem atualizações constantes, com inclusão de novos setores e ênfase em eletricidade, produtos plásticos e de construção. Atualmente, é considerado o banco de dados mais completo.

Segundo Ribeiro (2009), um banco de dados para suporte da ACV é constituído por diversas bases de dados que contêm informações de caráter ambiental sobre a produção de bens de consumo, sobre a disponibilização de recursos energéticos e, ainda, sobre a realização de serviços. Essas bases são chamadas de inventário do ciclo de vida de elementos comuns como materiais (cerâmicos, metálicos, etc), energia (elétrica, etc), transporte (rodoviário, ferroviário) e gerenciamento de resíduos (entulho, etc), conforme a Figura 33.

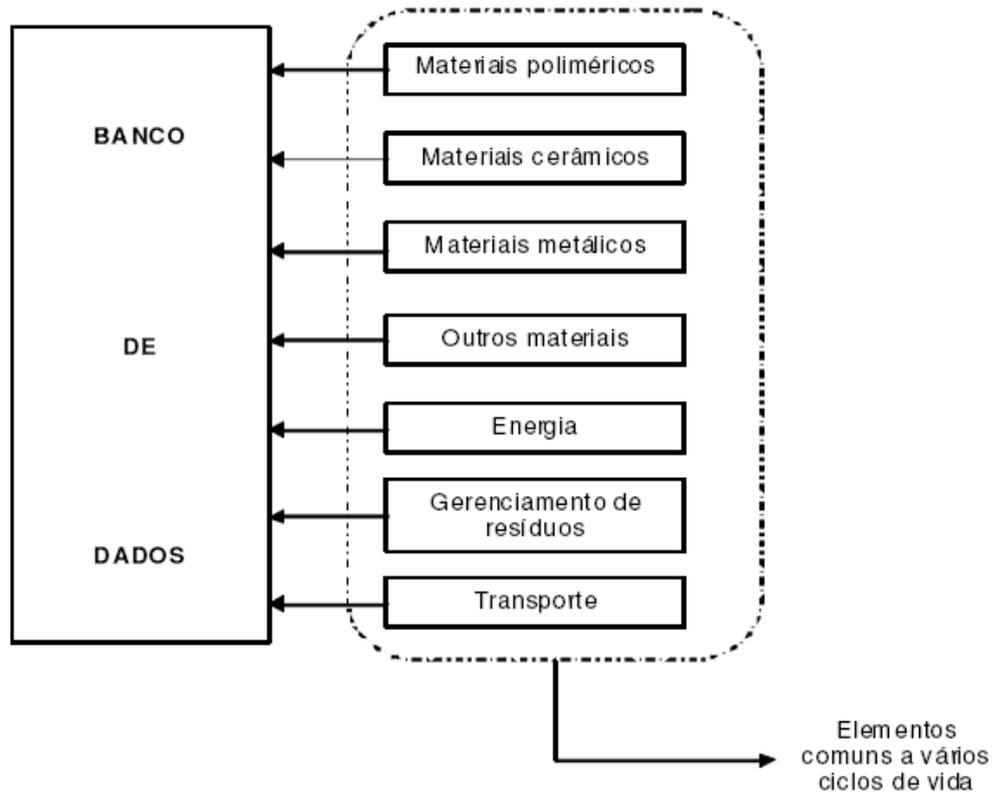


Figura 33 – Representação de banco de dados.
Fonte: RIBEIRO, 2009.

De uma perspectiva prática, o inventário de diferentes fluxos elementares de materiais utilizados em construção civil estaria disponibilizado em um banco de dados contendo, por exemplo, cimento, pisos, azulejos, pintura, etc. Na seqüência, na elaboração de um serviço, como uma parede, poder-se-ia fazer a simulação a partir de diferentes cenários que atendam a uma mesma função. Para uma parede pode-se comparar a sua realização com blocos cerâmicos ou de concreto, com revestimentos de massa corrida ou cal fina, com pintura do tipo 1 ou do tipo 2, etc (SOARES, 2006).

No Brasil, ainda não existe uma base de dados abrangente e capaz de caracterizar o desempenho típico de componentes do ambiente construído, seja na etapa de projeto, construção ou uso, operação e demolição.

Há poucos inventários nacionais para estudos sobre o ciclo de vida, dificultando a correta interpretação de resultados, pois as bases são originadas em outros países de diferentes continentes. As áreas que mais têm contribuído pra a formação de banco de dados de elementos são a química, a energética e a

petrolífera. Alguns trabalhos bem recentes podem ser citados, como o acervo sobre fertilizantes nitrogenados (RIBEIRO, 2009), o inventário do ciclo de vida do biodiesel etílico do óleo de girassol (VIANA, 2008) e a geração de eletricidade (RIBEIRO, 2003). No setor de construção, há sinais dos primeiros passos nessa área, como a contribuição sobre madeira de Pinus (EGAS, 2008), sobre materiais na construção civil (OLIVEIRA, 2007) e resíduos de construção e demolição (PASQUALI, 2005).

Os aplicativos mais usados no Brasil são o BEES, SimaPro e o GaBi. Os três possuem as opções dos métodos CML e Ecoindicador 99. Os softwares SimaPro e o GaBi são de uso genérico, podendo ser adaptados para o setor de construção.

3.4.1 Análise de Sensibilidade

As ferramentas mais completas de ACV oferecem uma análise de sensibilidade, como por exemplo, o SimaPro e o GaBi. A análise de sensibilidade desempenha um papel fundamental na tomada de decisões, pois determina os efeitos de uma mudança em um parâmetro de decisão no desempenho do sistema, ou seja, determina a importância de uma variável sobre o resultado final de outra. É um procedimento utilizado para estimar os efeitos dos métodos e dados selecionados, nos resultados de um estudo (NBR ISO 14041, 2004). Estima quanto uma modificação no modelo ou dado utilizado, pode resultar em uma modificação no inventário, no perfil ambiental ou em qualquer outro resultado da ACV (BENEDET, 2007).

A análise de sensibilidade é o estudo da forma como a variação na saída de um modelo pode ser repartida, qualitativa ou quantitativamente, para diferentes fontes de variação, e como o modelo apresentado depende informações transmitidas a ele (ORTIZ-RODRIGUEZ, 2009). O parâmetro para o estudo da análise pode ser incluir a estrutura e/ou excluir a infra-estrutura de uma construção, de acordo com os objetivos do usuário ou do escopo.

Ainda segundo Benedet (2007), as variáveis independentes de uma ACV podem ser os valores de parâmetros de entrada, as fronteiras do sistema, regras de alocação, modelos ou processos utilizados. As variáveis dependentes podem ser os valores de parâmetros de saída ou prioridades entre alternativas em um estudo

comparativo. Com as opções eleitas determinam-se os efeitos de uma mudança de um parâmetro de decisão no desempenho do sistema, a fim de observar como diferentes projeções de variáveis afetam os resultados dos impactos ambientais.

4 APLICAÇÃO E MODELAGEM TEÓRICA DA ACV EM EDIFICAÇÕES

Os objetivos do modelo teórico são avaliar os processos, dentro das diretrizes do desenvolvimento sustentável, examinar todos os aspectos pertinentes ao setor de construção de uma edificação e atingir a qualidade de dados para uma aplicação em modelagem. Também é necessário delimitar fronteiras, devido à complexidade do sistema a ser descrito, fazer uma abordagem sistêmica de todos os fatores envolvidos e investigar a interação dos subsistemas e seus resultados. O mapeamento das operações de entradas e saídas fornece dados descritivos para identificar as falhas e problemas desse sistema. O ciclo de vida do produto fornece procedimentos padronizados internacionalmente para mapear um sistema, levantar dados, avaliar seus impactos e interpretar o seu desempenho. Com informações filtradas e dados organizados e classificados, a interpretação dos resultados dos impactos ambientais e a tomada de decisão em sustentabilidade podem ser mensurados por um modelo teórico aplicado através de ferramentas e medidos no sistema em desempenho pela análise de sensibilidade.

O produto final do setor da construção possui uma característica muito importante da perspectiva do meio ambiente, sua expectativa de vida é longa, como já foi citado, e seus maiores impactos estão concentrados na utilização que ocupa a maior fase da sua existência. Há muitos pressupostos de tempo, custo e conformidade que precisam ser verificados e avaliados para reduzir os impactos ambientais e também sócio-econômicos.

A indústria da construção no Brasil, principalmente o setor de edificações, tem muitas peculiaridades, técnicas e processos específicos relacionados aos aspectos ambientais, sociais e econômicos das várias regiões do país. Essa afirmação verifica-se pelo uso de diferentes materiais pela disponibilidade, como na região

norte do país, também como alternativa de baixo custo para construções populares, altos custos com o transporte e técnicas limitadas pelo acesso a novas tecnologias. O avanço da construção com parâmetros de sustentabilidade só é possível com metodologias viáveis que possam analisar todo e qualquer cenário de um empreendimento com suas características. Para delimitar e viabilizar esse estudo optou-se pela ênfase, dentro do setor de construção, da investigação da ACV em edificações habitacionais.

Outro fator determinante para a escolha do setor de edificações é o crescimento do mesmo, já citado na seção 2.4. As obras Residenciais cresceram e os investimentos saltaram 17% em 2011. Com investimentos na casa dos U\$\$ 44,6 bilhões e área construída passando de 76,2 milhões de m² em 2010, para 88,7 milhões de m² em 2011, a alta no segmento foi de 14%. Em números de obras o crescimento foi de 8%, chegando a 6.500 novos empreendimentos, entre edifícios e condomínios de casas em vista dos 5.981 registrados em 2010. Nas regiões do Brasil, o Sudeste se destacou com 6.590 obras (representando 57% do total), seguido do Norte e Nordeste com 2.153 obras (18,6%), o Sul com 1.960 (17%) e a região Centro-Oeste com 856 obras (7,4%) (ITC, 2010).

Esta parte do estudo descreve também a disponibilidade de dados para a modelagem desse empreendimento. A aplicação conceitual e a abordagem do ciclo de vida no setor da construção de edificações habitacionais foram analisadas considerando um país em desenvolvimento (país emergente - Brasil). Um dos desafios do processo da obtenção de dados no Brasil foi a falta de controle de dados, de dispersão dos mesmos e precária padronização, portanto, foi necessário elaborar estimativas que auxiliassem na construção do modelo.

Dessa forma, foi construída, através do desenvolvimento de critérios sustentáveis e coleta de dados, uma metodologia para apoiar a aplicação da avaliação do ciclo de vida de uma edificação popular com parâmetros desse subsetor no Brasil. Portanto, o objetivo dessa pesquisa é uma metodologia que auxilie o processo de seleção, organização e qualidade dos dados para a aplicação de uma ACV.

4.1 PRESSUPOSTOS E HIPÓTESES DO ESTUDO

Nesse estudo pretendeu-se organizar, identificar e promover soluções e caminhos para a construção sustentável, desde o planejamento, passando pela execução e uso, até a demolição e disposição final através do levantamento de informações específicas de cada fase do ciclo de vida de um empreendimento com as técnicas e os materiais utilizados para identificar os possíveis impactos ambientais. Estruturar uma metodologia que auxilie a aplicação da ACV em edificações baseada em um estudo de caso. A concepção de um método baseado num caso real de uma edificação residencial popular, traz credibilidade aos critérios, às fronteiras e às diretrizes da lógica usada no esboço do método. Ressaltando que a tipologia da edificação em estudo é o tipo de construção em ascensão e com maior concentração de investimentos no Brasil.

As informações coletadas devem ser distribuídas em um modelo que relaciona as fases do ciclo de vida com os aspectos de sustentabilidade (ambiental, social e econômico), inserido no cenário da construção de uma edificação no Brasil, arbitrando valores de acordo com os impactos e prioridades já validados pela norma 14040 e as categorias de impacto relacionadas aos métodos CML e Eco-indicador 99. O modelo foi construído com a coleta e a observação de dados de uma edificação habitacional unifamiliar com características populares e genéricas (materiais e serviços), no Brasil, a fim de encontrar parâmetros pertinentes a esse setor na indústria da construção para a modelagem de uma ACV. É importante ressaltar a inexistência de padrão para este segmento, tornando-se um desafio para definição de critérios.

Todos os processos de cada fase do ciclo de vida serão detalhados, juntamente com os fluxos que interligam as entradas e saídas dos sistemas e subsistemas com quesitos preenchidos na matriz relacional. Os critérios para a tomada de decisão também serão relacionados com perspectivas técnicas e sócio-econômicas. Para auxiliar a organização e controle do levantamento dos dados foram construídos formulários para a abordagem quantitativa.

4.2 FERRAMENTAS UTILIZADAS

As ferramentas utilizadas nesse estudo foram validadas pela norma 14040 (2006) e os métodos reconhecidos mundialmente para as categorias de impactos (IMPLEMENTATION OF LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT METHODS, 2010).

Inicialmente, foi feito um esboço de uma matriz correlacional para verificar os questionamentos pertinentes aos processos envolvidos e objetivos de uma ACV de uma edificação.

Essa matriz correlaciona os três aspectos da sustentabilidade em cada fase do ciclo de vida (Tabela 11). É importante ressaltar os questionamentos do sistema, antes de definir seus objetivos. Desta forma, verificam-se a abrangência do sistema, seus desafios e delimitações.

Tabela 11. – Matriz correlacional de sustentabilidade.

| Aspectos da sustentabilidade | Fase de extração e produção de | Fase de construção | Fase de uso, operação e manutenção | Fase de desmobilização |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---|-------------------------------|
| Ambiental | | | | |
| Social | | | | |
| Econômico | | | | |

Fonte: Autor, 2012.

Após os critérios descritos, há um mapeamento dos processos com as informações coletadas em normas e estudos técnicos do comportamento genérico dos insumos para a construção de uma edificação.

A partir da união das informações quantitativas e qualitativas, é feita a estruturação do modelo em fases com todos os critérios necessários para um mapeamento e formação do ciclo de vida. O modelo teve suas fronteiras definidas de acordo com o objetivo e o escopo. E também pela organização, seleção e classificação dos dados para executar uma simulação em uma ferramenta computacional, apesar das limitações das mesmas no Brasil, já que não há um banco de dados consolidado. Os resultados do modelo teórico são apresentados por

macro e micro processos, relacionados por fluxos, com os respectivos insumos, resíduos e potenciais impactos.

O estudo da ACV tem sido utilizado para validar, criar e modificar os critérios de sustentabilidade (ambiental, social e econômico) adaptadas a região de estudo e também para fazer os balanços dos recursos naturais disponíveis.

Para construção do modelo teórico serão usados conceitos fundamentais de interação entre os aspectos ambiental, social e econômico com as fases normatizadas da ACV, percentuais baseados nas estatísticas da construção no Brasil e uma possível aplicação em uma planilha digital.

4.3 ESTRUTURA OPERACIONAL DO MODELO

O estudo inicia com a identificação do empreendimento e o levantamento dos insumos de materiais, insumos energéticos e insumos de serviços que causam principalmente impactos ambientais. A partir dessas informações é possível ter uma previsão qualitativa e quantitativa do cenário.

A seguir, serão definidos os parâmetros das quatro fases do ciclo de vida do empreendimento, como recomenda a norma 14040 (2006) e a norma 14044 (2006).

4.3.1 Definição de objetivo e escopo

Conforme os parâmetros da ACV, o escopo de um estudo de ACV deve referir-se às três dimensões: onde iniciar e parar o estudo do ciclo de vida, quantos e quais sub-sistemas (ou sub-processos) incluir, e o nível de detalhes do estudo.

A primeira fase trata da definição do objetivo e escopo: trata da caracterização do empreendimento informando a tipologia do mesmo e da classificação sócio-econômica. Define as condições de contorno para a análise.

Nesta pesquisa, foi escolhida uma edificação habitacional de dois pavimentos, unifamiliar, geminada com quatro outras edificações similares formando um conjunto residencial. As plantas foram cedidas pelo Arquiteto Fernando José Pires Condeixa, CREA/RJ-1972101229, responsável pela obra. A edificação representa uma grande parcela de construções nesse setor no Brasil para a classe média baixa, atualmente

o setor sócio-econômico com maior crescimento. A unidade habitacional é denominada como simples ou popular, com estrutura em concreto e vedação em tijolo cerâmico.

A edificação escolhida possui a denominação de CASA 4. O conjunto residencial está localizado na Rua Mutuapira, lote 136, na cidade de São Gonçalo, Rio de Janeiro. A área utilizável está dividida em dois quartos, um banheiro, uma cozinha, uma sala, uma garagem e um quintal. A construção foi realizada com materiais típicos desse segmento e técnicas construtivas simples que podem ser executadas no próprio canteiro de obras. A edificação recebe abastecimento de água tratada e possui coleta de esgoto, ambos os serviços executados pela concessionária Águas de Niterói. Também recebe energia elétrica distribuída pela Empresa Ampla Energia e Serviços. O município de São Gonçalo é a segunda cidade mais populosa do Estado do Rio de Janeiro e integra a região metropolitana. A distância entre a cidade de São Gonçalo e a cidade do Rio de Janeiro é de aproximadamente 25 quilômetros. O clima do município é do tipo tropical atlântico, com chuvas de verão e inverno relativamente seco. Quanto a vida útil da edificação assumiu-se um tempo de 50 anos, segundo a recomendação de normas de construção e desempenho no Brasil, sabendo-se que as características das construções indicam uma vida útil maior.

A Figura 34 apresenta as plantas baixas do primeiro e do segundo pavimentos, conforme o projeto original. A partir das plantas baixas, é possível observar a disposição dos cômodos com as suas respectivas áreas. O total da área de construção da CASA 4 é 55, 63 metros quadrados, situada em um terreno com 61,69 metros quadrados.

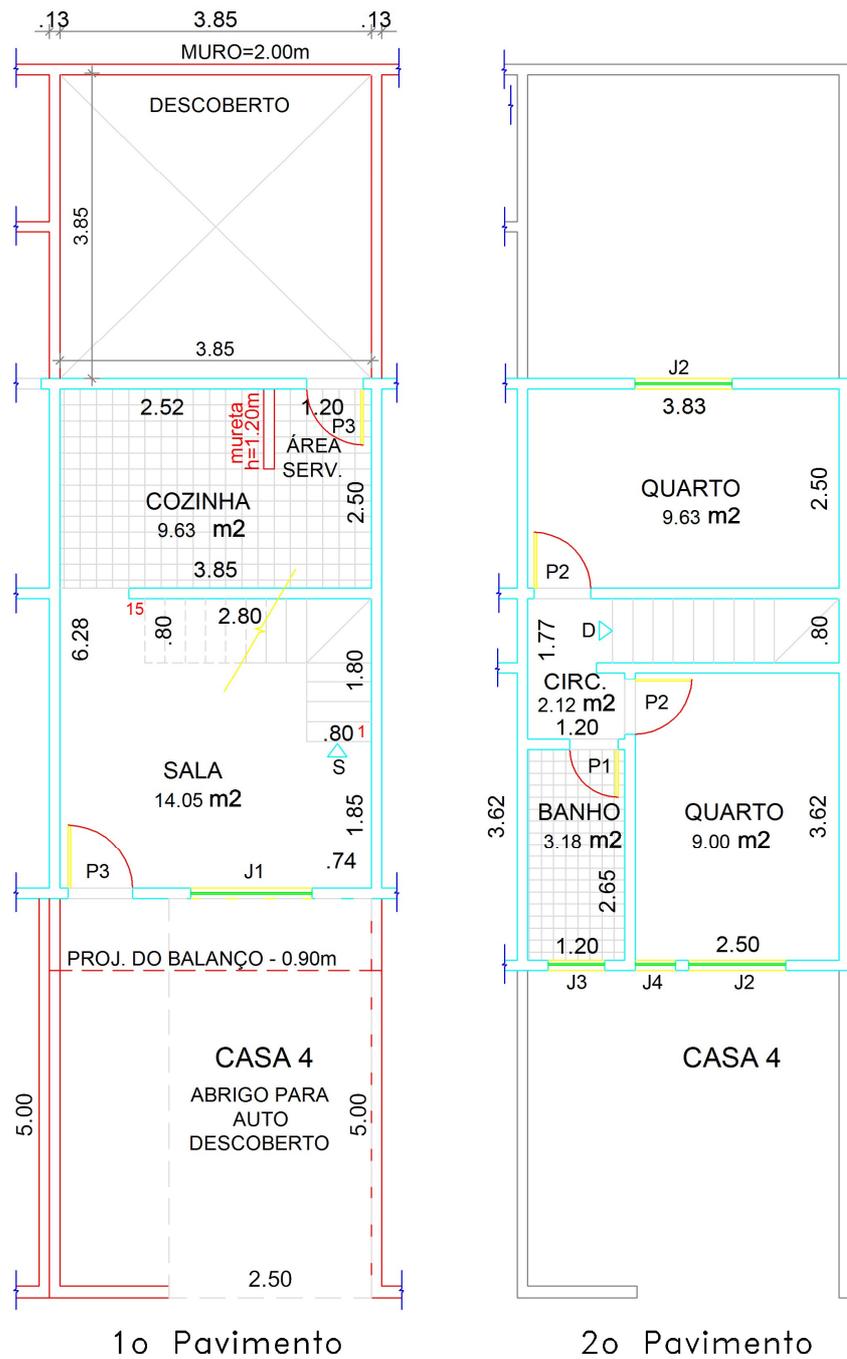


Figura 34 – Plantas baixas do primeiro e segundo pavimentos, sem escala.
 Fonte: Fernando José Pires Condeixa, 2012.

As plantas de fachada mostram a arquitetura do conjunto de edificações através da Figura 35.



Figura 35 – Plantas de fachada, sem escala.
Fonte: Fernando José Pires Condeixa, 2012.

O pé direito da edificação mede 2,80 metros e aparece na planta com o corte transversal, conforme a Figura 36.

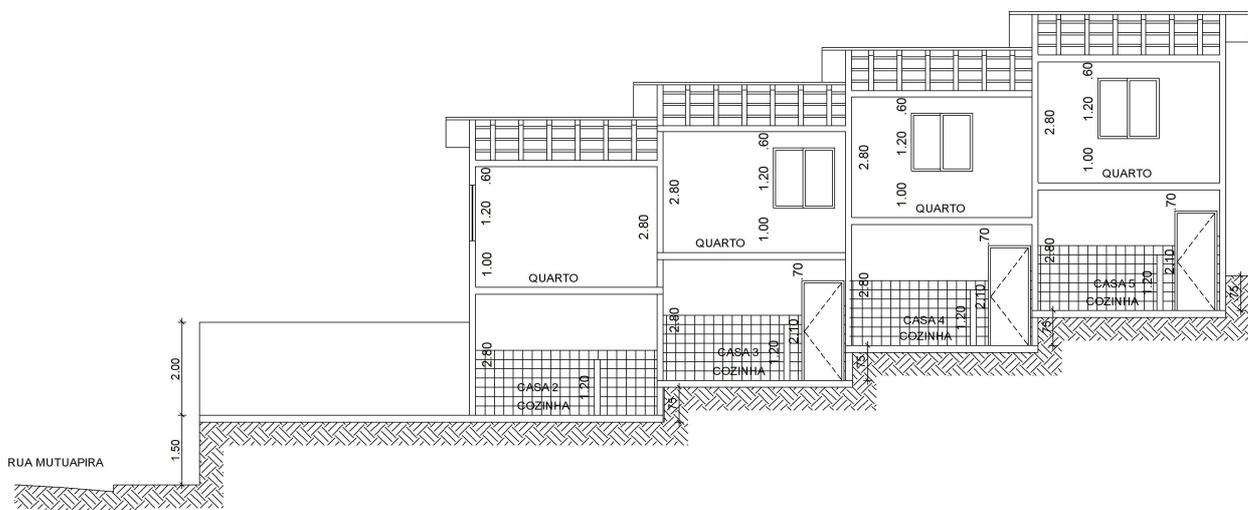


Figura 36 – Plantas de corte, sem escala.
Fonte: Fernando José Pires Condeixa, 2012.

A oportunidade de avaliar os impactos de cinco edificações tendo como base os dados de apenas uma, dada às semelhanças das construções, tornou-se um aspecto relevante na escolha de um conjunto residencial. No encontro de duas ruas, localizam-se as edificações e podem ser observadas na planta de situação conforme a Figura 37.

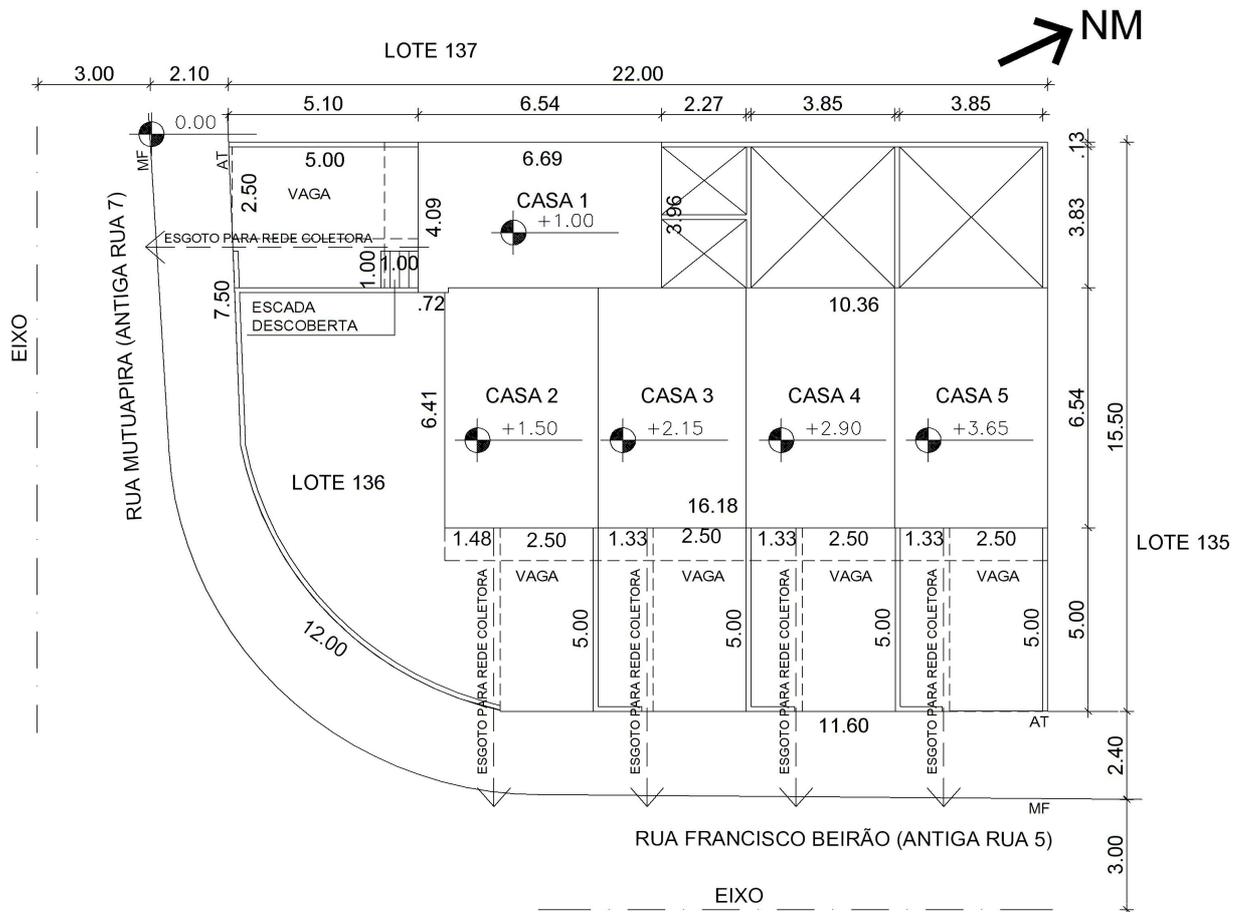


Figura 37 – Plantas de situação, sem escala.
 Fonte: Fernando José Pires Condeixa, 2012.

A orientação solar da edificação também é de grande importância para o planejamento da edificação, pois a mesma identifica a incidência solar nos quartos e demais cômodos. As diretrizes arquitetônicas preconizam que a incidência solar nos quartos apenas pela manhã, para que os mesmos não sejam aquecidos na hora de repouso, à noite, devido o clima típico. Dessa forma, favorece um conforto em dias quentes e minimiza o uso de aparelhos de ar-condicionado de maior intensidade, economizando energia.

A Tabela 12 apresenta os quadros de áreas das edificações, onde se pode observar a distribuição dos espaços arquitetônicos e a taxa de ocupação do terreno que é definida como a porcentagem máxima de construção em projeção horizontal permitida em um lote. Em suma, é o limite estipulado por lei para o uso e ocupação do solo para controle e crescimento urbano. O uso e ocupação do solo também fazem parte dos itens analisados para avaliação dos impactos.

Tabela 12. – Quadro de áreas.

| TIPO | ÁREA DE CONSTRUÇÃO TOTAL: 280,03 m ² | | | ÁREA PRIV. PROP. DO TERRENO m ² | COEF. PROPORC. DAS ÁREAS |
|----------------------------|--|-----------|-----------|---|-----------------------------|
| | N° DA CASA | 1° PAVIM. | 2° PAVIM. | | |
| CASA 1 | 26,37 | 30,05 | 56,42 | 51,17 | 51,17/309,00=0,1672 |
| CASA 2 | 26,19 | 29,83 | 56,02 | 83,02 | 83,02/309,00=0,2687 |
| CASA 3 | 25,92 | 29,50 | 55,42 | 50,42 | 50,42/309,00=0,1632 |
| CASA 4 | 26,02 | 29,61 | 55,63 | 61,69 | 61,69/309,00=0,1996 |
| CASA 5 | 26,45 | 30,09 | 56,54 | 62,70 | 62,70/309,00=0,2029 |
| TOTAL | 130,95 | 149,08 | 280,03 | | |
| TERRENO TOTAL DO TERRENO : | | | | 309,00m ² | 1,0000 |
| TAXA DE OCUPAÇÃO : 42,38% | | | | | |

Fonte: Fernando José Pires Condeixa, 2012.

Para o empreendimento ser avaliado, foi realizada uma pesquisa do entorno da edificação, investigando a origem de insumos e caracterizando do meio-ambiente. O estudo detalhado dessas etapas é de grande relevância para uma correta avaliação dos objetivos propostos, já que o subsetor possui uma estrutura complexa.

4.3.1.1 Definição das fronteiras do sistema

O abastecimento de eletricidade foi com base em um quilowatt-hora (1 kWh). Está incluída a eletricidade elétrica produzida pelas tecnologias do sistema elétrico, pertinente ao Brasil, tendo em vista a geração, rede de transmissão e distribuição para o usuário final.

Já o abastecimento de água também é caracterizado conforme o usual no Brasil, medição em metro cúbico. A água tratada é distribuída por centrais de abastecimento, provenientes de centrais de tratamento, que captam a água de bacias hidrográficas de rios. As águas residuais (esgoto) são coletadas para tratamento.

Outro aspecto importante para definição das fronteiras é o conhecimento do clima. A edificação está localizada no Estado do Rio de Janeiro, onde o clima predominante é o tropical semi-úmido na área de relevo mais plano (modelo), com

elevados índices de pluviosidade no verão e inverno seco. A temperatura média anual da área é de 24°C e a média de chuvas anuais é de cerca de 1.250 mm.

Após a pesquisa de abastecimento de energia e água e caracterização do clima, fazem-se necessárias as definições das fases da ACV de uma edificação habitacional. As fases definidas são: a construção, a utilização e o fim de vida, conforme a Figura 38.

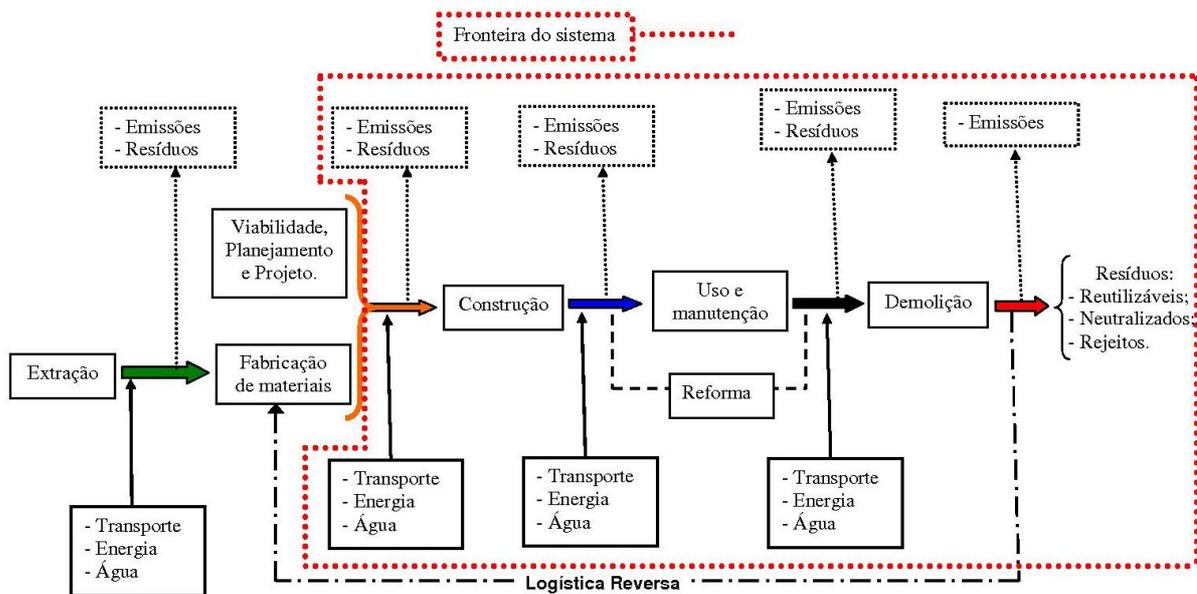


Figura 38 – Fronteira do sistema.
Fonte: Autor, 2012.

A fase de construção inclui a produção dos materiais usados na construção da edificação (manufaturados na obra), o transporte de materiais para o canteiro de obras, a energia consumida durante a fase de construção, as emissões e a gestão dos resíduos gerados no local da construção.

A fase de utilização inclui a operação e atividades de manutenção de acordo com as características climáticas onde a edificação está inserida. A fase de operação inclui o consumo de energia como o uso do ar condicionado, atividades domésticas: tais como iluminação (não serão consideradas as trocas de lâmpadas), consumo de água tratada, eletrodomésticos (não serão consideradas as trocas de aparelhos) e o consumo de gás liquefeito de petróleo, como na maioria das edificações habitacionais no país. Estima-se que as atividades de manutenção necessárias para manter as edificações em bom estado são: a pintura, tubos e conexões de PVC (trocas ou vazamentos), manutenção de janelas de alumínio,

substituição de telhas e substituição dos armários e dos metais da cozinha e do banheiro. O consumo de materiais está incluso nessas atividades; também surge nessa fase a produção de resíduos e emissões.

A fase fim de vida (demolição/desmantelamento) avalia a energia consumida pelos equipamentos e máquinas utilizados durante a demolição; outro fator importante nessa fase é a quantidade de resíduos gerados durante a desmontagem da construção, incluindo o seu transporte até o destino final e a deposição em aterro.

É importante ressaltar que o modo de transporte de materiais de construção é 100% de caminhão. A distância do local de aquisição dos materiais até o local da construção é assumido como sendo 18,5 km.

4.3.2 Análise do inventário

A etapa do inventário de ciclo de vida (ICV) caracteriza a coleta de dados e procedimentos de cálculos para quantificar as entradas dos recursos naturais (materiais e energia) e as saídas (materiais, resíduos e energia) do sistema da edificação.

Serão, então, quantificados os materiais, previstos em projetos através de formulários, conforme a Figura 39. A identificação da edificação é feita nos formulários, bem como sua tipologia, fase do ciclo de vida e processo (pertinente a cada fase).

| | | | | | | |
|-------------------------|-------------|--------------|--|-----------------------|-------------|--------------|
| Edificação: | | | | | | |
| Endereço: | | | | | | |
| Tipologia: | | | | | | |
| Fase do ciclo de vida: | | | | | | |
| Processo: | | | | | | |
| Material Entrada | Unid | Quant | | Material Saída | Unid | Quant |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Responsável: | | | | Data: | | |

Figura 39 – Formulários para levantamentos.
Fonte: Autor, 2012.

A energia elétrica pode vir de várias fontes como a energia hidráulica, energia nuclear, carvão, gás natural, ciclo combinado, óleo, vento, etc. No Brasil, cerca de 98% da energia elétrica vem de usinas hidrelétricas e o restante é a combinação entre usinas nucleares (Angra I e II), termoelétricas (a gás natural) e eólicas. Desta forma, as cargas ambientais, em relação a energia para a edificação (modelo), foram atribuídas de acordo com o tipo de fornecimento.

A energia elétrica do Estado do Rio de Janeiro é gerada, em sua maioria (cerca de 95%), nas Usinas Hidrelétricas do Complexo de Furnas e Itaipu. Essa energia vem através de grandes torres e subestações, chegando a distribuição final.

O consumo mensal de energia durante a fase de operação precisa ser calculado considerando todos os equipamentos elétricos da edificação, a quantidade de habitantes e a rotina dos moradores. A Tabela 13 apresenta os equipamentos elétricos usuais em edificações residenciais.

Tabela 13. – Consumo dos equipamentos elétricos usuais em edificações.

| Aparelhos Elétricos | Potência Média (Watts) | Dias de Uso no Mês | Tempo Médio de Utilização por Dia | Consumo Médio Mensal |
|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|--|-----------------------------|
| Aparelho de som | 80 | 20 | 3h | 4,8 |
| Ar condicionado 7.500 BTU | 1000 | 30 | 8h | 120 |
| Computador / impressora | 180 | 30 | 3h | 16,2 |
| Cafeteira elétrica | 600 | 30 | 1h | 18 |
| Chuveiro elétrico | 3500 | 30 | 40min(**) | 70 |
| Ferro elétrico | 1000 | 12 | 1h | 12 |
| Forno microondas | 1200 | 30 | 20min | 12 |
| Geladeira 1 porta | 200 | - | - | 45 |
| Geladeira 2 portas | 300 | - | - | 80 |
| Lâmpada fluorescente 23W | 23 | 30 | 5h | 3,5 |
| Lâmpada incandescente 100W | 100 | 30 | 5h | 15 |
| Liquidificador | 300 | 15 | 15min | 1,1 |
| Secador de cabelo pequeno | 600 | 30 | 15min | 4,5 |
| TV-Cor – 29 pol. | 110 | 30 | 5h | 16,5 |
| Ventilador / circulador | 120 | 30 | 8h | 28,8 |
| videogame | 15 | 15 | 4h | 0,9 |

Fonte: Caderno de Energia - Furnas, 2012.

Para cada equipamento que consome energia elétrica deve ser realizado o seguinte cálculo: Potência do Equipamento (W) x Número de horas utilizadas x Número de dias de uso mês, dividido por 1000. O resultado é em kWh. Após o cálculo do consumo de todos os equipamentos, encontra-se o resultado de consumo mensal. O consumo estimado para a edificação do estudo, CASA 4, é de aproximadamente de 635 kWh mensais. Esse valor foi estimado com base na tabela 13, número de cômodos e habitantes.

Para a análise de inventário da edificação, a mesma foi analisada como residencial unifamiliar dividida em dois pavimentos. A sua área está distribuída em dois quartos, uma sala, um banheiro e uma cozinha. Os principais materiais de construção são: tijolo, cimento, agregados, e aço. A cobertura é feita de telhas. A Tabela 14 apresenta as principais características construtivas da edificação.

Tabela 14. – Características construtivas da edificação.

| Sistema da edificação | Características específicas dos sistemas da edificação |
|------------------------------|--|
| Fundação | Sapatas em concreto armado. Vigas em concreto armado. |
| Estrutura | Colunas e vigas em concreto armado; lajes pré-fabricadas (vigotas em concreto armado e tijolo cerâmico). |
| Pisos (revestimento) | Contrapiso em concreto, piso cerâmico, piso em granito |
| Paredes (vedação) | Tijolo cerâmico assentado com argamassa de cal, cimento, areia e água. |
| Esquadrias | Janela de alumínio, porta de ferro, porta de madeira, porta sanfonada em PVC, portão de ferro e porta de alumínio. |
| Telhado | Possui duas águas. Telhas cerâmicas dos tipos carioquinha e americana. |
| Orientação da edificação | Noroeste |
| Rebaixos | Gesso |

| | |
|--------------------------------|---|
| Instalações Hidráulicas/esgoto | Caixa d'água em fibra de vidro, PVC soldável, PVC rígido, conexões em PVC, registros metálicos (latão). |
| Instalações elétricas | Fios de cobre, barramentos metálicos, quadro de aço, disjuntor. |

Fonte: Autor, 2012.

Nesta etapa é feita a avaliação das distintas cargas ambientais das emissões gasosas, do consumo de energia, dos impactos no uso dos materiais, dos resíduos produzidos das diferentes etapas incluídas nos limites do sistema escolhido através dos dados qualitativos e quantitativos. A partir dos dados inventariados é feito o balanço de massa e energia do sistema delimitado (entradas e saídas). As cargas ambientais estão definidas conforma as normas ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006), conforme citação na seção 2.3.3.3.

4.3.3 Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida

Nesta etapa, as cargas ambientais provenientes do inventário serão classificadas, caracterizadas e quantificadas. As cargas ambientais adotarão valores relativos aos métodos internacionais padronizados (CML e Eco-indicador 99) de análise do impacto do ciclo de vida (AICV), dada a abrangência das categorias de impactos em sintonia com as características ambientais do Brasil.

O método CML é uma abordagem de ponto médio, que abrange todas as emissões e os impactos de recursos relacionados (por exemplo, carbono dióxido de carbono, metano N_2O e outros gases de efeito estufa foram agregados em emissões de CO_2 equivalente, de acordo com seus respectivos potenciais de aquecimento global; ecotoxicidade dos recursos hídricos; mudanças climáticas). Já o método Eco-indicador 99 é uma análise de ponto final, que considera com maior ênfase os fatores de danos diretos ao ambiente e ao homem através da observação dos fluxos elementares de recursos e poluentes.

Geralmente, as cargas ambientais provenientes do inventário, serão calculadas com o auxílio de uma ferramenta devido a complexidade de fórmulas e métodos.

4.3.4 Interpretação (Análise dos resultados)

A partir dos resultados, é possível enumerar e classificar os impactos mais freqüentes e com maiores danos. Então, com as interpretações, faz-se a identificação das causas de acordo com a fase do ciclo de vida e encontram-se as soluções e as alternativas viáveis.

4.3.5 Análise do modelo

As informações quantitativas e qualitativas fornecem um perfil do modelo do ciclo de vida de uma edificação e a qualificação dos dados de entrada para simular o sistema. A partir da utilização da matriz correlacional, formulários e ferramentas propostas apresenta-se uma solução sintética para a ACV numa edificação unifamiliar que representa grande parte das construções desse segmento no Brasil.

4.3.6 Modelo e critérios do ciclo de vida da edificação

Neste item, será apresentado o modelo com as suas definições e parâmetros, juntamente com as ferramentas utilizadas.

Inicialmente, a matriz correlacional foi preenchida com os questionamentos pertinentes a aplicação da ACV para a edificação habitacional. Estão listados os critérios para direcionar o estudo e os objetivos relevantes.

Tabela 15. – Matriz correlacional preenchida.

| Aspectos da sustentabilidade | Fase da Extração e do Produto | Fase de construção | Fase de utilização | Fase de fim de vida |
|------------------------------|--|---|---|---|
| Ambiental | <ul style="list-style-type: none"> -consumo de água e energia nos processos; -controle de emissões de poluentes para a água, solo e ar; -otimização de processos de fabricação; -extração de matéria-prima de fonte renovável ou não | <ul style="list-style-type: none"> -consumo de água e energia nos processos; -diretrizes de um canteiro de obras sustentável; -controle de emissões de poluentes para a água, solo e ar; - avaliação das técnicas construtivas empregadas (ambiente e vida útil | <ul style="list-style-type: none"> -consumo de água e energia; -verificação dos materiais utilizados pelo seu desempenho ambiental; -reutilização de materiais, energia e água; -manutenção preventiva; | <ul style="list-style-type: none"> -consumo de energia; -controle de emissões de poluentes para a água, solo e ar; -controle de emissão de ruído; -transporte; -reciclagem e logística reversa |

| | | | | |
|------------------|---|--|--|--|
| | renovável; -controle de emissão de ruído; -controle de perdas; -transporte; -resíduos gerados. | da edificação); -verificação dos materiais pelo seu desempenho ambiental; -uso de materiais reciclados; -controle de emissão de ruído; -controle de perdas; -resíduos gerados. | - reforma; -resíduos gerados. | de materiais; -disposição final dos resíduos gerados. |
| Social | -Formalização de mão-de-obra; -responsabilidade social; -Planejamento no uso de recursos naturais; -a saúde e segurança ocupacional; -controle no consumo de energia e água; -conformidade legal; -Integração com a sociedade. | - Formalização de mão-de-obra; - saúde e segurança ocupacional; -política de compra responsável de materiais; -controle no consumo de energia e água; -conformidade legal. | -política de compra responsável de materiais; -controle no consumo de energia e água. | -controle de emissão de ruído; saúde e segurança ocupacional; -disposição final dos resíduos gerados. |
| Econômico | Projeções de negócios sustentáveis para insumos e desenvolvimento; -controle de perdas; -otimização sustentável de processos e diminuição dos custos; -transporte; -planejamento estratégico alinhado ao desenvolvimento sustentável. | -otimização de processos no emprego de materiais; - uso de materiais reciclados; -controle de perdas; Minimizar riscos ambientais; -transporte; -estratégia de marketing sustentável. | -controle nos insumos; -reutilização de materiais, energia e água. -manutenção. | -consumo de energia; -transporte; -reciclagem e logística reversa de materiais; -disposição final dos resíduos gerados. |

Fonte: Autor, 2012.

A partir do preenchimento da matriz, podem ser avaliados os aspectos apropriados à ênfase da avaliação do ciclo de vida que se deseja. A matriz relacional

é um instrumento de auxílio no perfil do estudo que se pretende, antes das definições de objetivo e escopo que são os elementos da primeira etapa de qualquer ACV. Para esse estudo, as fronteiras são as fases: construção, utilização e fim de vida.

Depois dos critérios escolhidos a partir da matriz relacional, definem-se o objetivo e o escopo da ACV (primeira fase) e inicia a próxima etapa, inventário de ciclo de vida (ICV), com o preenchimento dos formulários com os quantitativos para formar parte do inventário. Os quantitativos devem ser levantados conforme o uso na obra, de preferência, sem margens de acréscimo, para verificar a realidade do consumo e seus impactos. A partir do preenchimento dos quantitativos é encontrada uma tabela com os principais valores dos materiais agregados, madeira, aço, tijolo cerâmico e aditivo (Tabela 16).

Tabela 16. – Tabela com materiais.

| Materiais | Unid | Quant |
|-----------|----------------|--------|
| Cimento | kg | 37.850 |
| Brita | m ³ | 58 |
| Areia | m ³ | 131 |
| Aço | kg | 890 |
| Madeira | m ³ | 4 |
| Tijolo | un | 10.750 |
| Aditivo | litros | 43,2 |

Fonte: Autor, 2012.

A partir do inventário formado pelos quantitativos de materiais, consumo de água e energia e possíveis resíduos, monta-se o modelo parao auxílio na aplicação da ACV, já com as fronteiras definidas e a identificação de todos os seus processos que forma um sistema.

Então, o modelo apresenta um sistema com fronteiras delimitadas. Dentro do sistema existem as fases, que é a perspectiva macro. Dentro de cada fase há os processos, em perspectiva micro. E entre os processos há os fluxos que transformam saídas em entradas.

A utilização de ferramentas de administração e controle podem também apoiar a elaboração e acompanhamento dos processos. Com o auxílio de fluxogramas, diagrama de árvore, entre outros, a composição do modelo pode ser estruturada para qualquer estudo de caso em construção.

O modelo é apresentado em forma de diagrama para uma melhor observação das fases e dos processos, conforme a Figura 40 que descreve em nível macro. Após segue uma caracterização dos principais aspectos dos processos.

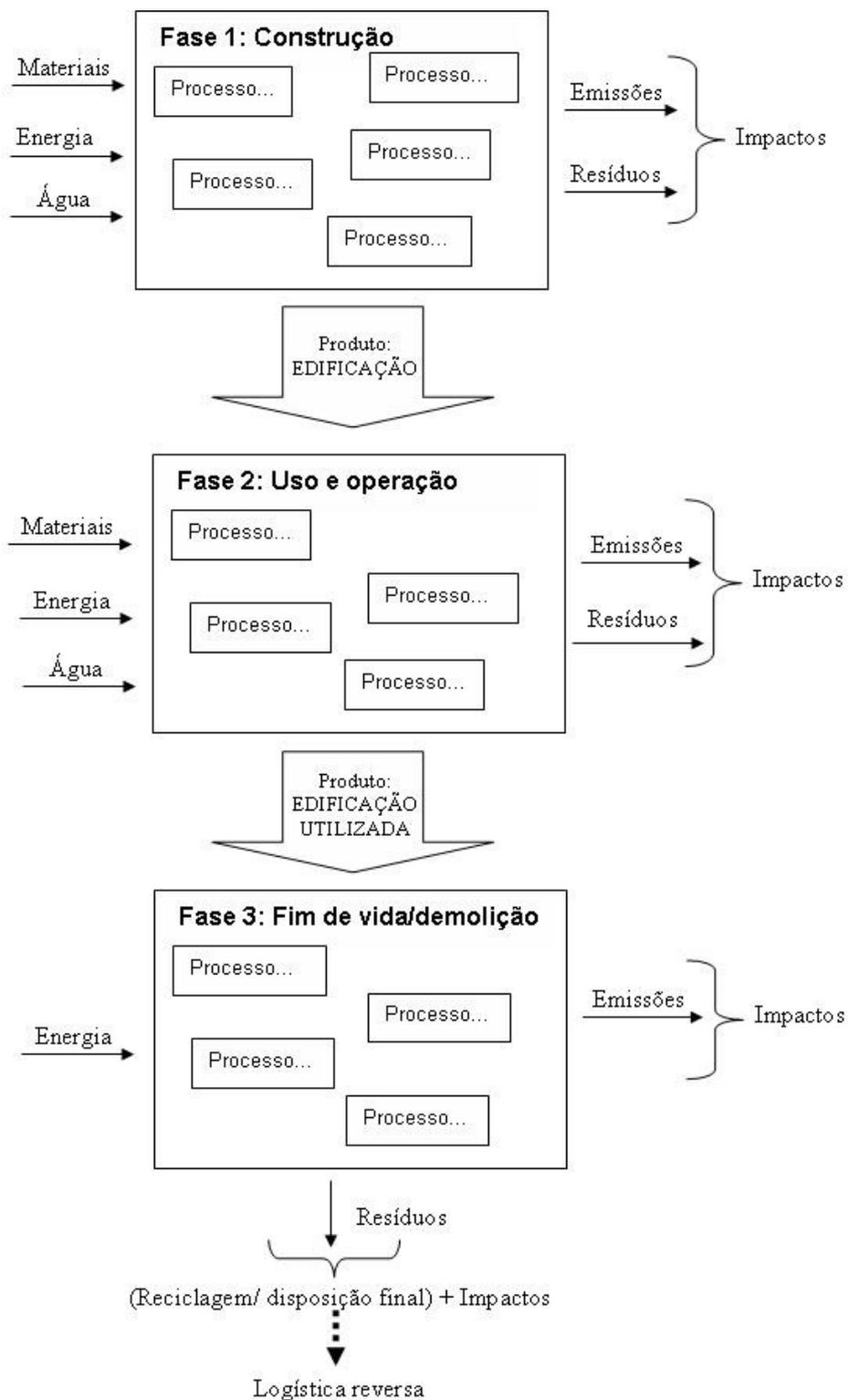


Figura 40 – Modelo (nível macro).
Fonte: Autor, 2012.

Para uma maior percepção dos detalhes técnicos, propôs-se caracterizar em nível micro as particularidades dos processos. A Figura 41 mostra a primeira fase em nível micro para determinar os processos.



Figura 41 – Modelo (nível micro) – Fase 1.
 Fonte: Autor, 2012.

A maior concentração de processos está na fase de construção (Figura 39). Há uma grande gestão de insumos, pessoas e equipamentos no canteiro de obras. O conhecimento dos prováveis impactos relacionados a essa fase proporciona uma eficiente tomada de decisão para minimizar as cargas ambientais.

Diretrizes sustentáveis na tomada de decisão dos processos da fase de construção:

- utilizar materiais com certificação ambiental, pois garantem o uso de insumos que possuem impactos controlados ou minimizados (exemplo: madeira);
- utilizar materiais reciclados ou reutilizados disponíveis no mercado;
- optar por técnicas construtivas e/ou materiais menos agressivos para o meio-ambiente e diminuir os resíduos, como a pintura com tinta a base d'água em vez da tinta com verniz que é a base de solvente, ou ainda, a escolha de cores claras para favorecer a iluminação natural;
- a escolha dos vidros pelo desempenho térmico e pela iluminação;
- dar preferência a esquadrias de alumínio anodizado devido a sua longa vida útil e pouca manutenção;
- reutilizar a água no próprio canteiro de obras, como por exemplo, as águas cinzas que podem ser direcionadas para descarga ou captação pluvial;
- levantar as possíveis opções de compras de insumos com menor distância do canteiro de obras;
- minimizar acidentes de trabalhadores nos canteiros de obra;
- planejar um tratamento adequado para os resíduos e com a sua disposição final;
- usar mão de obra formal e especializada, com preferência na comunidade local;

- escolher técnicas construtivas e materiais pelo desempenho ambiental, como o uso de estruturas pré-moldadas (baixo resíduo), instalações prediais aparentes ou tijolos com furos planejados para a passagem de tubos e/ou eletrodutos.

A próxima fase é a de uso e operação, onde, geralmente, os impactos em relação ao consumo energético e da água possuem grandes índices. A Figura 42 descreve em nível micro os seus principais processos.

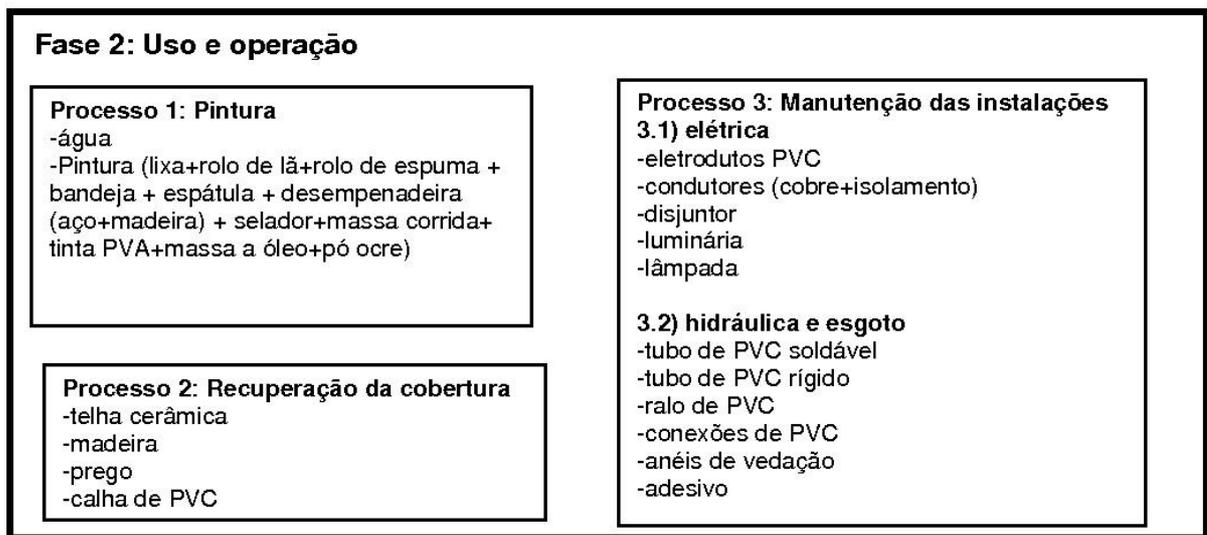


Figura 42 – Modelo (nível micro) – Fase 2.
Fonte: Autor, 2012.

A fase do ciclo de vida de uma edificação com maior intervalo de tempo (anos, décadas) é a de uso e operação. Isso justifica a grande preocupação das decisões tomadas por construtores, na orientação de memorial, e dos próprios usuários.

Nessa fase, há também a possibilidade de reforma (adaptação a novas necessidades e/ou decoração). No entanto, essas decisões dependem do usuário e seus objetivos com a edificação. Então, uma possível reforma não será considerada nesse estudo, apenas as recomendações técnicas de vida útil mínima dos sistemas, conforme NBR 15.575 (2008).

Diretrizes sustentáveis na tomada de decisão dos processos na fase de uso e operação:

- nas manutenções ou reformas, optar por materiais com certificação ambiental, pois garantem o uso de insumos que possuem impactos controlados ou minimizados;
- optar por técnicas construtivas e/ou materiais menos agressivos para o meio-ambiente e diminuir os resíduos, como a pintura com tinta a base d'água em vez da tinta com verniz que é a base de solvente, ou ainda, a escolha de cores claras para favorecer a iluminação natural;
- captação de água pluvial para o uso;
- manutenção de áreas verdes;
- seleção e tratamento do resíduo doméstico;
- uso de lâmpadas fluorescentes tubulares, circulares e compactas para a redução do consumo de energia elétrica e também da emissão de calor;
- reutilizar a água;
- fazer manutenções periódicas das instalações e estruturas.

A última fase, dentro da fronteira desse estudo, é o fim de vida. Uma das grandes preocupações dessa fase é a geração de resíduos. A amplitude dos impactos dessa fase é decorrente das técnicas construtivas e dos materiais utilizados ao longo das fases anteriores. A Figura 43 detalha os principais processos envolvidos na fase 3.

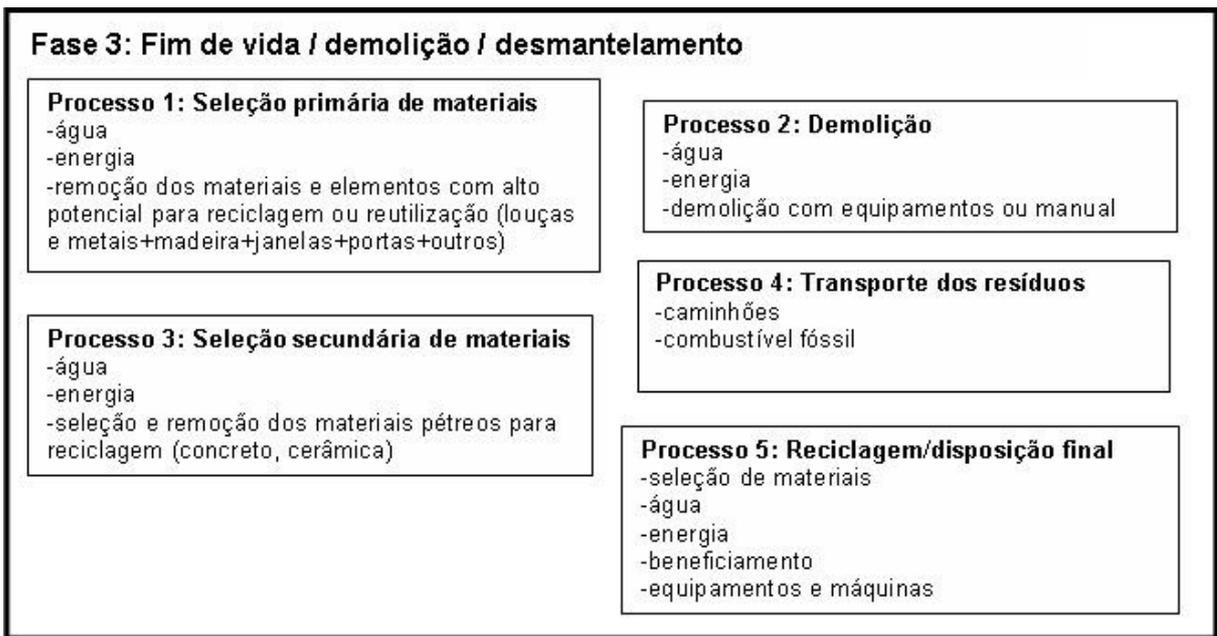


Figura 43 – Modelo (nível micro) – Fase 3.
Fonte: Autor, 2012.

As demolições ainda são feitas sem uma padronização das atividades e muitas vezes, os resíduos são recolhidos por processos informais, como carroceiros, com desconhecimento do tratamento e da correta disposição final. A falta de controle das operações de disposição final ocasionam grandes contaminações do solo e lençóis d'água.

Outra grande preocupação dessa fase é a emissão de poluentes no ar pelas emissões de CO₂ originados da queima de combustíveis fósseis no transporte dos resíduos.

Diretrizes sustentáveis na tomada de decisão dos processos na fase de fim de vida:

- planejar todas as atividades de demolição e desmantelamento;
- optar por serviços formais e com certificação ambiental de coleta de resíduos e disposição final;
- planejar a retirar e possível reciclagem e reuso de materiais com potencial vida útil;
- verificar possíveis emissões de ruído e de poeira no local.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados e as discussões sobre a estrutura operacional do modelo, as vertentes do modelo com os aspectos da sustentabilidade e a modelagem da ACV nos aplicativos.

Sobre a estrutura operacional do modelo, serão apresentados, neste capítulo, os resultados do mapeamento e da modelagem dos processos do ciclo de vida de uma edificação popular, com as três fases, e também as discussões referentes a esses resultados, possíveis soluções, diretrizes na operação de aplicativos.

Como resultados dessa tese foram diagnosticados, estudados e levantados os principais processos existentes em uma construção, usando-se como modelo uma construção popular (seção 4.3.1). Estes processos encontram-se enumerados e detalhados no presente capítulo.

Foram utilizadas as principais categorias de impacto conforme as normas ISO 14040 (2006), ISO 14044 (2006) e os métodos CML e Eco-indicador 99, descritas na seção 2.3.3.3. Os resíduos são classificados quanto à classe de RCD (CONAMA) e quanto as categorias de impacto de acordo o tipo de ponto, médio e final.

O método proposto para auxílio da ACV é um método descritivo que engloba meio ambiente, aspectos econômicos e sociais. O método pode ser válido e pode contribuir para sustentabilidade nos diferentes setores especialmente na construção. Além disso, o método tem inclusos indicadores de sustentabilidade típicos da ACV, como as categorias de impacto. Os resultados podem ser estudados nas duas perspectivas, macro e micro, pesquisando indicadores de ecoeficiência no setor de construção.

Ressalta-se que todos os impactos dos processos são “saídas”. Os impactos correlacionam-se com os macro processos, sendo assim classificados quando não constituem fluxo, ou seja, não tornam-se “entradas” em novos processos, deixando o sistema e afetando o meio ambiente.

As ferramentas mecânicas, as ferramentas elétricas e os equipamentos não farão parte dos insumos desse estudo, exceto pelo consumo de energia e emissões.

5.1 PROCESSOS DA FASE 1: CONSTRUÇÃO

Esta fase possui onze processos principais para levantamento quantitativo e qualitativo dos insumos, saídas e potenciais impactos.

5.1.1 Processo 1 – Instalação do canteiro

O canteiro oferece suporte às atividades administrativas e operacionais da execução de uma obra. O canteiro é uma estrutura dinâmica e flexível, que durante o desenvolvimento da obra assume características distintas em função dos operários, empresas, materiais, técnicas construtivas, certificações e equipamentos presentes. A figura 44 representa o primeiro processo.

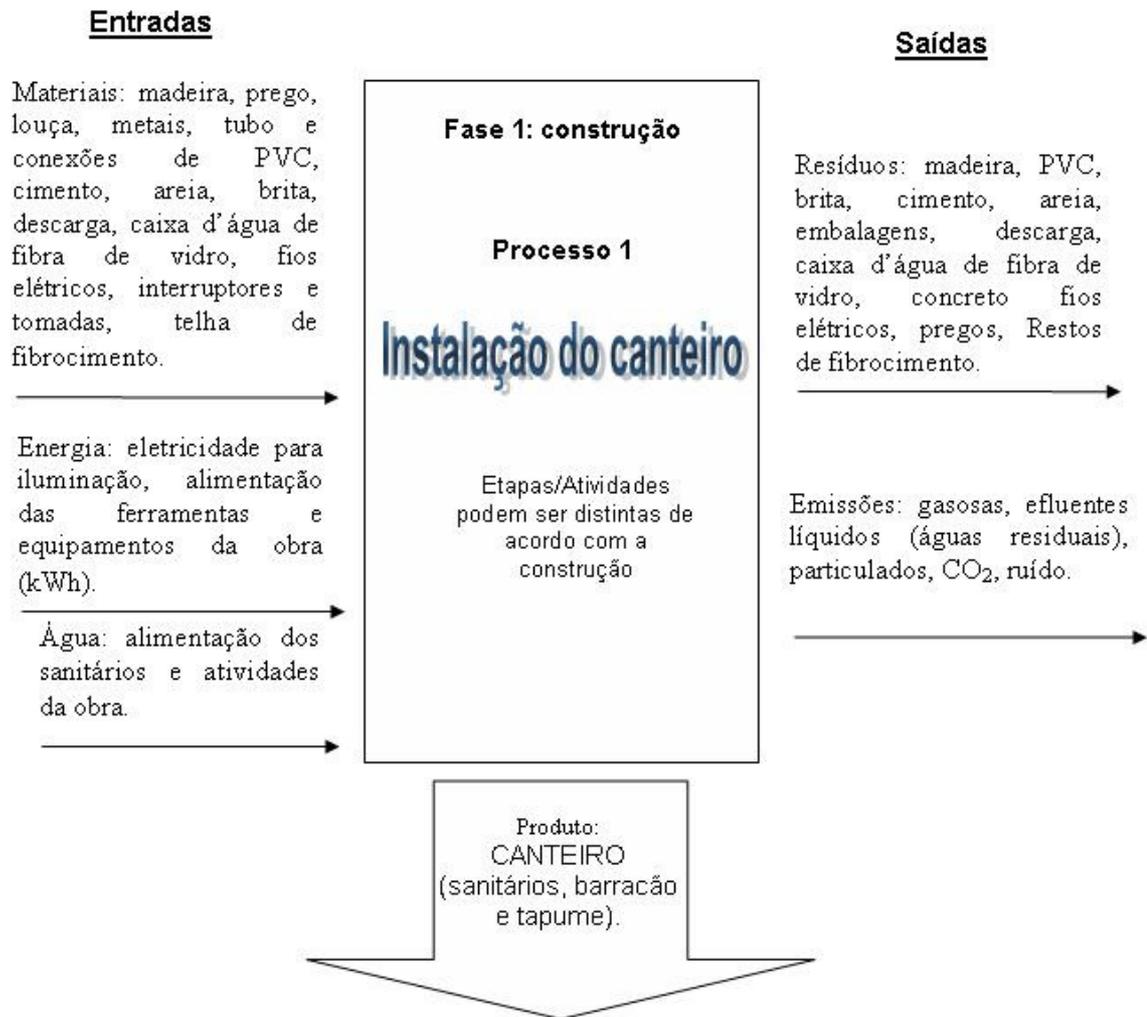


Figura 44 – Processo 1: Instalação do canteiro – Fase 1.
Fonte: Autor, 2012.

A entrada dos principais materiais para a instalação do canteiro, inclui dispositivos como a caixa d'água e a descarga. Esses itens entrarão e sairão do processo sem interferir no balanço do ciclo de vida, dada a fronteira desse estudo que exclui a extração e fabricação. Os dispositivos, que possuem função de reservatórios, poderão ser reutilizados em qualquer outra obra ou construção, pois, geralmente, não sofrem danos na instalação e desinstalação. Os interruptores e as tomadas também não interferem no balanço do ciclo, pois podem ser reutilizados.

Os efluentes líquidos são destinados a fossa, respeitando todos os critérios exigidos em norma para o funcionamento da mesma. O construtor decidiu pelo uso da fossa dado o baixo volume das águas residuais durante o canteiro e praticidade na implantação e desmantelamento.

No Brasil, em obras de edificações habitacionais, o controle de emissões gasosas para o meio-ambiente ainda está em estudos e não existe uma obrigatoriedade.

Resíduos de materiais e classificações:

- 1) Agregados e aglomerantes: classe A – Reciclável como agregado - Exemplo: beneficiamento por máquina trituradora;
- 2) Madeira, fios elétricos, pregos, embalagens e PVC: classe B – Reciclável;
- 3) Restos de fibrocimento: classe D - Perigoso

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Emissões de particulados, gases para o ambiente, resíduos perigosos
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana, ecotoxicidade, depleção do ozônio, criação de oxidante, mudanças climáticas, contaminação do solo e rios, acidificação da água.
 - Categoria ponto final: tipos de câncer, doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 2) Resíduos não biodegradáveis lançados no meio-ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana e ecotoxicidade
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 3) Efluentes líquidos (águas residuais)
 - Categoria ponto médio: contaminação de solo, rios e lençóis, acidificação do solo.

- Categoria ponto final: degradação de ecossistemas, doenças por parasitas, redução do volume de água doce.

4) Emissão de ruído

- Categoria ponto médio: ruído.

- Categoria ponto final: lesão aguda no sistema auditivo humano.

5.1.2 Processo 2 – Movimentação de terra

As atividades de escavação, carga, transporte, descarga, compactação e nivelamento no processo de movimentação de terra visam a conformidade topográfica do terreno para a adequação do projeto.

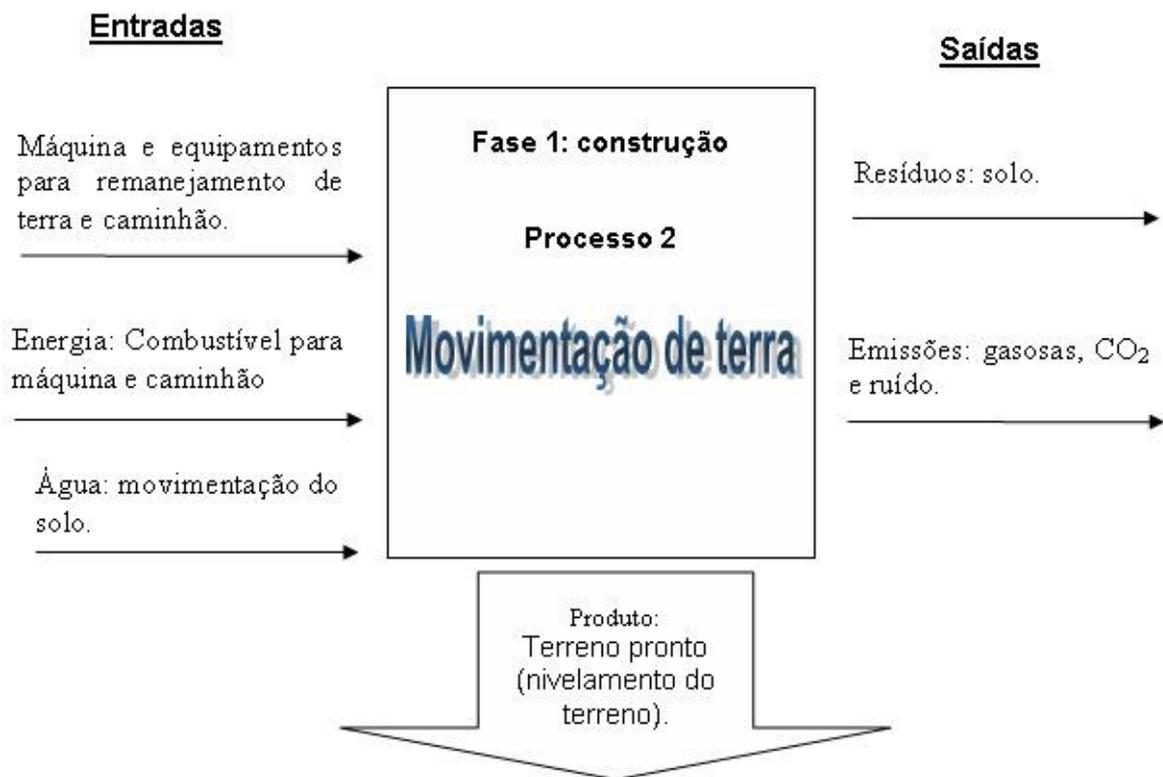


Figura 45 – Processo 2: Movimentação de terra – Fase 1.

Fonte: Autor, 2012.

Nesse estudo de caso em que está baseada a metodologia proposta, o construtor fez movimentação de terra com equipamentos e retirou do cerca de 49m^3 de solo em 8 caminhões com capacidade de 7m^3 cada.

Resíduos de materiais e classificações:

- 1) Solo: classe A – Reciclável - Exemplo: aterro;

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Emissões de gases para o ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana, ecotoxicidade, depleção do ozônio, mudanças climáticas, acidificação da água.
 - Categoria ponto final: doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 2) Uso do solo
 - Categoria ponto médio: uso do solo e perdas.
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas e perda de solo.
- 3) Emissão de ruído
 - Categoria ponto médio: ruído.
 - Categoria ponto final: lesão aguda no sistema auditivo humano.

5.1.3 Processo 3 – Fundações

As fundações são a base para a superestrutura da edificação para descarregar todas as cargas”. Em síntese, trata-se de uma estrutura de concreto, baldrame ou de ferro, que distribui as cargas da construção por uma área maior do solo. É um processo importante para o conjunto de estruturas da edificação.

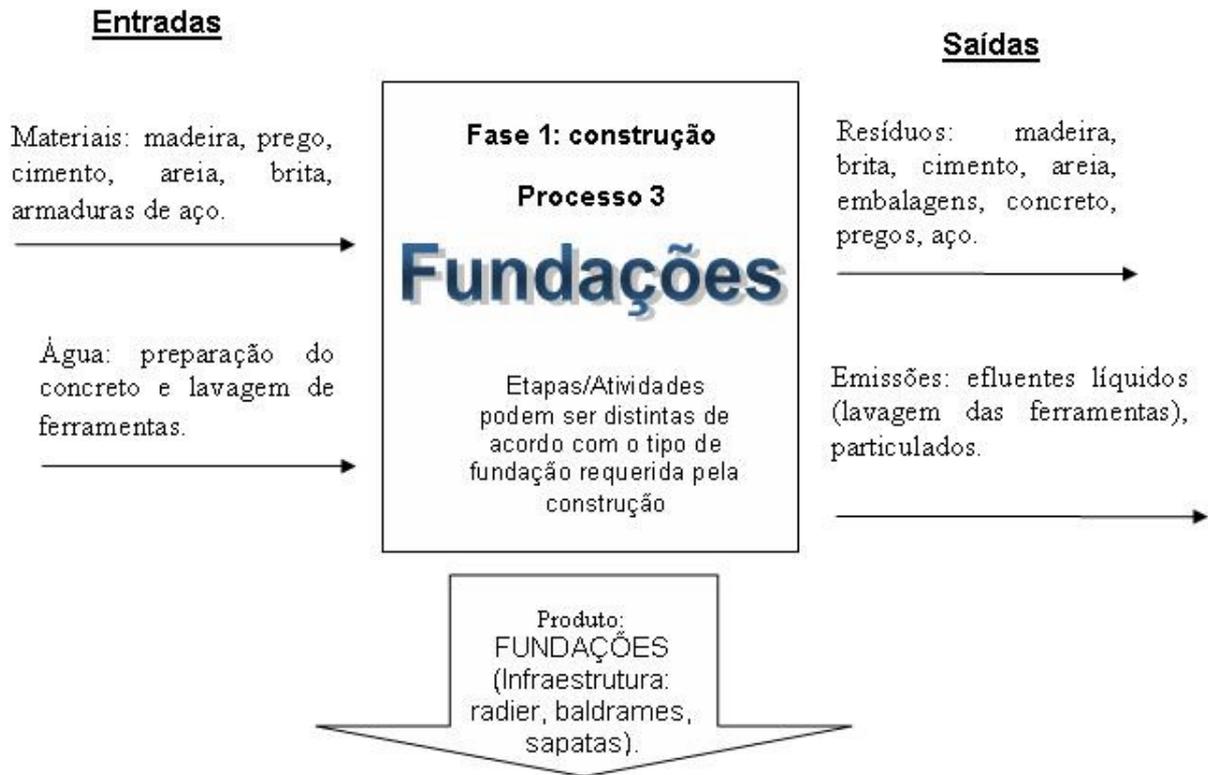


Figura 46 – Processo 3: Fundações – Fase 1.
Fonte: Autor, 2012.

Nesse estudo, o construtor fez um radier de aproximadamente 15cm de espessura de concreto armado e usou blocos de baldrames.

Resíduos de materiais e classificações:

- 1) Agregados e aglomerantes: classe A – Reciclável como agregado - Exemplo: beneficiamento por máquina trituradora;
- 2) Partes de madeira, embalagens e pregos: classe B – Reciclável;

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Emissões de particulados e gases para o ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana, ecotoxicidade, depleção do ozônio, mudanças climáticas.
 - Categoria ponto final: doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.

- 2) Resíduos não biodegradáveis lançados no meio-ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana e ecotoxicidade
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 3) Efluentes líquidos
 - Categoria ponto médio: contaminação de solo, rios e lençóis.
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas, doenças por parasitas, redução do volume de água doce.

5.1.4 Processo 4 – Estrutura

A forma como o processo de construção da estrutura é conduzido impacta diretamente na sua vida útil. A preocupação com as especificações de projeto, dos materiais e das técnicas construívas podem definir o desempenho dos elementos estruturais frente a exposição de agentes nocivos que originam as patologias nas construções.

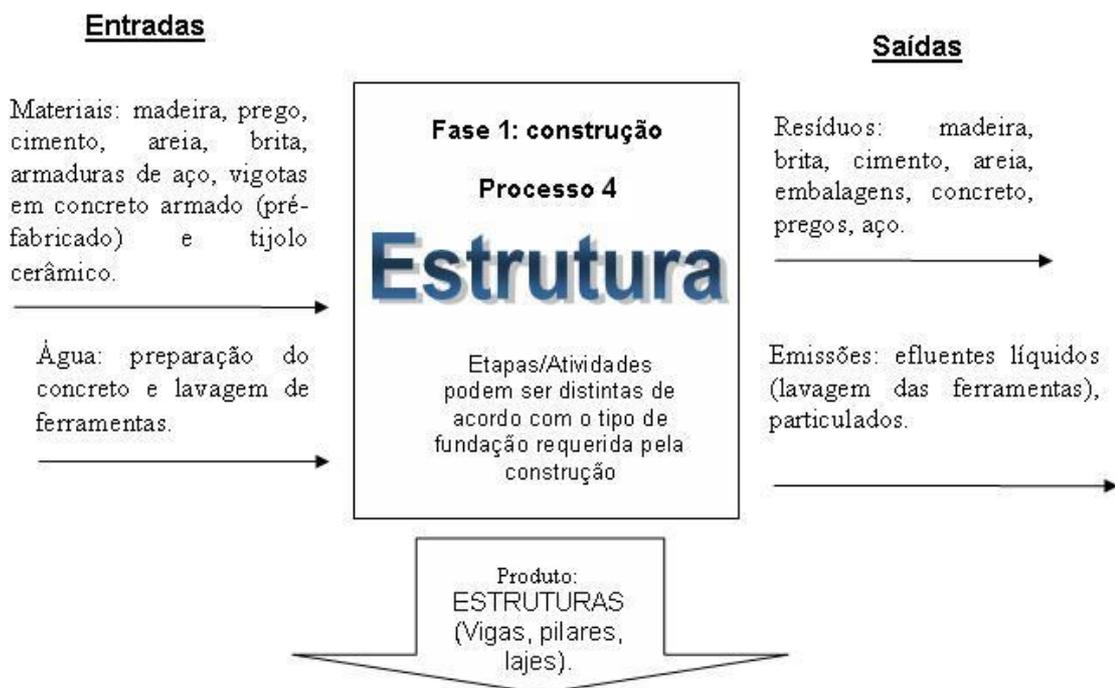


Figura 47 – Processo 4: Estrutura – Fase 1.
Fonte: Autor, 2012.

Nesse estudo, o construtor utilizou lajes com vigotas de concreto armado pré-fabricadas e enchimento com tijolo cerâmico de encaixe. A vantagem desse método é o aproveitamento do material, pois os projetos são feitos sob medida e chegam prontos ao local da construção.

Resíduos de materiais e classificações:

- 1) Agregados e aglomerantes: classe A – Reciclável como agregado.
- 2) Partes de madeira, embalagens e pregos: classe B – Reciclável;

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Emissões de particulados e gases para o ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana, ecotoxicidade, depleção do ozônio, mudanças climáticas.
 - Categoria ponto final: doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 2) Resíduos não biodegradáveis lançados no meio-ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana e ecotoxicidade
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 3) Efluentes líquidos
 - Categoria ponto médio: contaminação de solo, rios e lençóis.
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas, doenças por parasitas, redução do volume de água doce.

5.1.5 Processo 5 – Vedação/Alvenaria

O processo de alvenaria consiste na construção de paredes de tijolo cerâmico furados ou maciços assentados com argamassa, com traço recomendado de 1:2:9 (cimento, cal hidratada e areia).

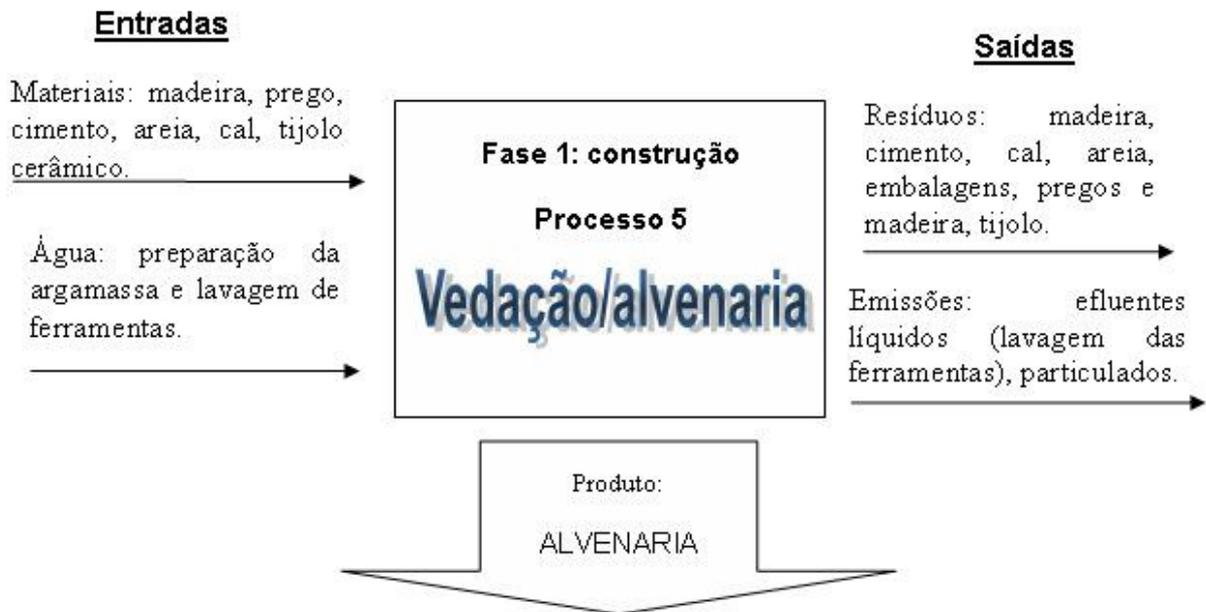


Figura 48 – Processo 5: Vedação / Alvenaria – Fase 1.
Fonte: Autor, 2012.

O construtor do estudo de caso utilizou tijolos furados e a argamassa recomendada.

Resíduos de materiais e classificações:

- 1) Agregados, aglomerantes e tijolos: classe A – Reciclável como agregado;
- 2) Partes de madeira, embalagens e pregos: classe B – Reciclável;
- 3) Restos de cal: classe C – Não reciclável

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Emissões de particulados, gases para o ambiente, resíduos não recicláveis

- Categoria ponto médio: toxicidade humana e ecotoxicidade.
 - Categoria ponto final: doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 2) Resíduos não biodegradáveis e não recicláveis lançados no meio-ambiente
- Categoria ponto médio: toxicidade humana e ecotoxicidade
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 3) Efluentes líquidos
- Categoria ponto médio: contaminação de solo, rios e lençóis.
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas, doenças por parasitas, redução do volume de água doce.

5.1.6 Processo 6 – Instalações

As instalações prediais formam uma infraestrutura para atender os serviços de consumo de uma edificação. Existem as instalações ordinárias (elétricas, hidráulicas) e as especiais (telefonias, tv, rede). A utilização de materiais apropriados e o correto dimensionamento das instalações contribuem para um menor consumo de água e energia. Na fase de projeto, podem ser previstas alternativas para reuso e captação de água.

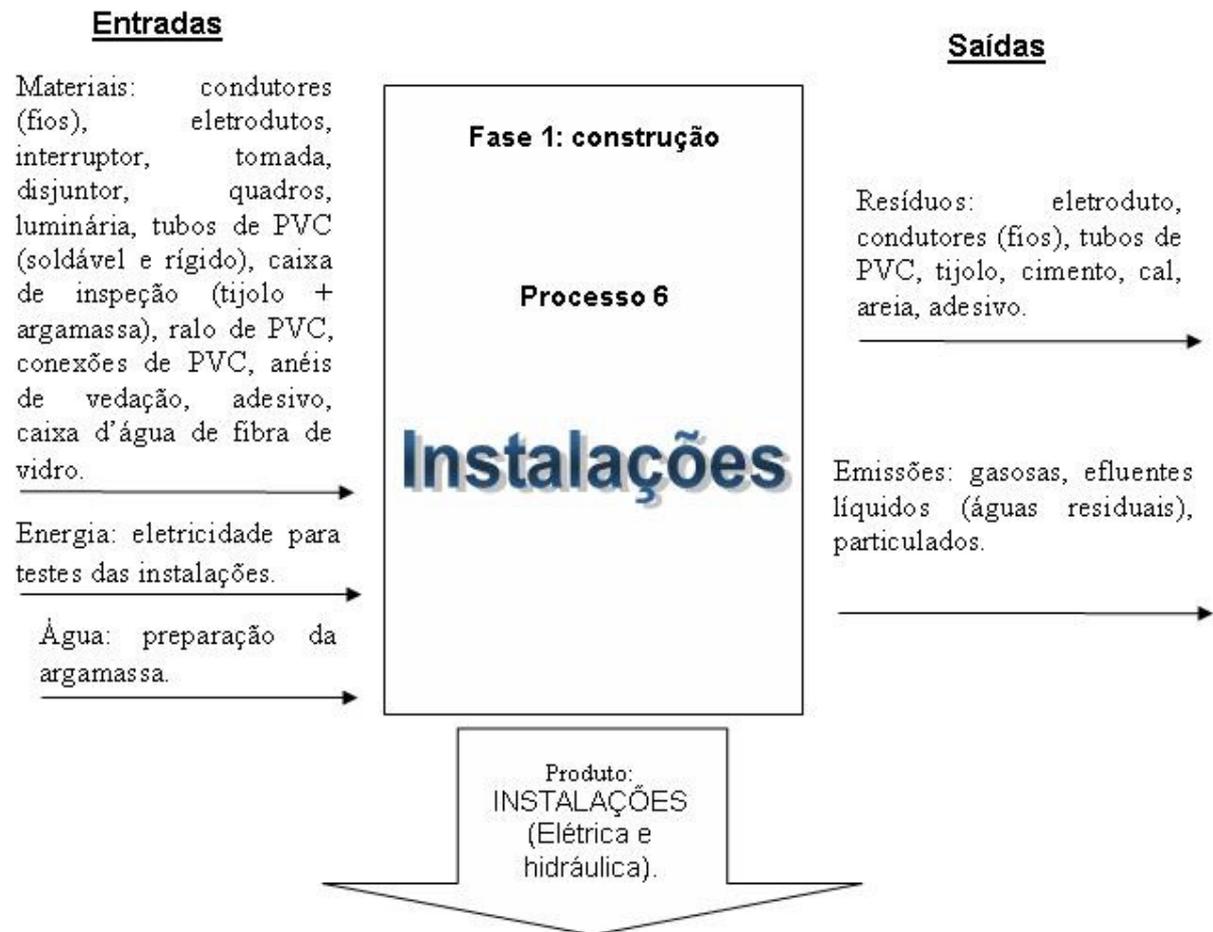


Figura 49 – Processo 6: Instalações – Fase 1.
Fonte: Autor, 2012.

Nesse estudo, o construtor realizou apenas as instalações ordinárias, cuja decisão segue o perfil das edificações populares.

Resíduos de materiais e classificações:

- 1) Agregados, aglomerantes e tijolos: classe A – Reciclável como agregado;
- 2) Condutores (fios), eletroduto e partes de tubos de PVC: classe B – Reciclável;
- 3) Restos de cal e adesivo para PVC: classe C – Não reciclável.

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Emissões de gases para o ambiente, resíduos não recicláveis
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana e ecotoxicidade.
 - Categoria ponto final: doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 2) Efluentes líquidos
 - Categoria ponto médio: contaminação de solo, rios e lençóis.
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas, doenças por parasitas, redução do volume de água doce.

5.1.7 Processo 7 – Cobertura

O tipo de cobertura utilizado deve cumprir as especificações técnicas de projeto e também proporcionar ao usuário da edificação proteção e conforto térmico. Uma alternativa sustentável e atingível é o planejamento de captação de águas pluviais para utilização da edificação, através da integração telhado e calhas direcionadas para um reservatório.

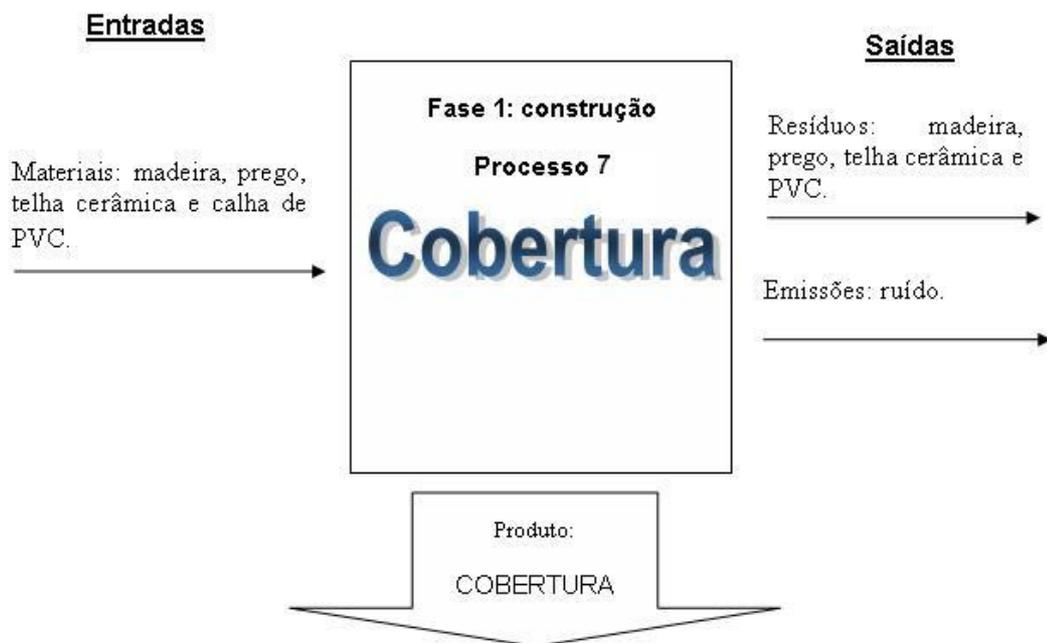


Figura 50 – Processo 7: Cobertura – Fase 1.
Fonte: Autor, 2012.

O construtor optou por telhas cerâmicas pelo baixo custo, facilidade de execução e acessível para manutenção.

Resíduos de materiais e classificações:

- 1) Telha cerâmica: classe A – Reciclável como agregado;
- 2) Madeira, prego e PVC: classe B – Reciclável;

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Resíduos não recicláveis lançados no meio-ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana e ecotoxicidade.
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas
- 2) Emissão de ruído
 - Categoria ponto médio: ruído.
 - Categoria ponto final: lesão aguda no sistema auditivo humano.

5.1.8 Processo 8 – Revestimento

Os materiais usados nos revestimentos de paredes, pisos e teto devem ser adequados a localização (interior e exterior da edificação) e sua execução apropriada previne patologias como falta de aderência e curta durabilidade.

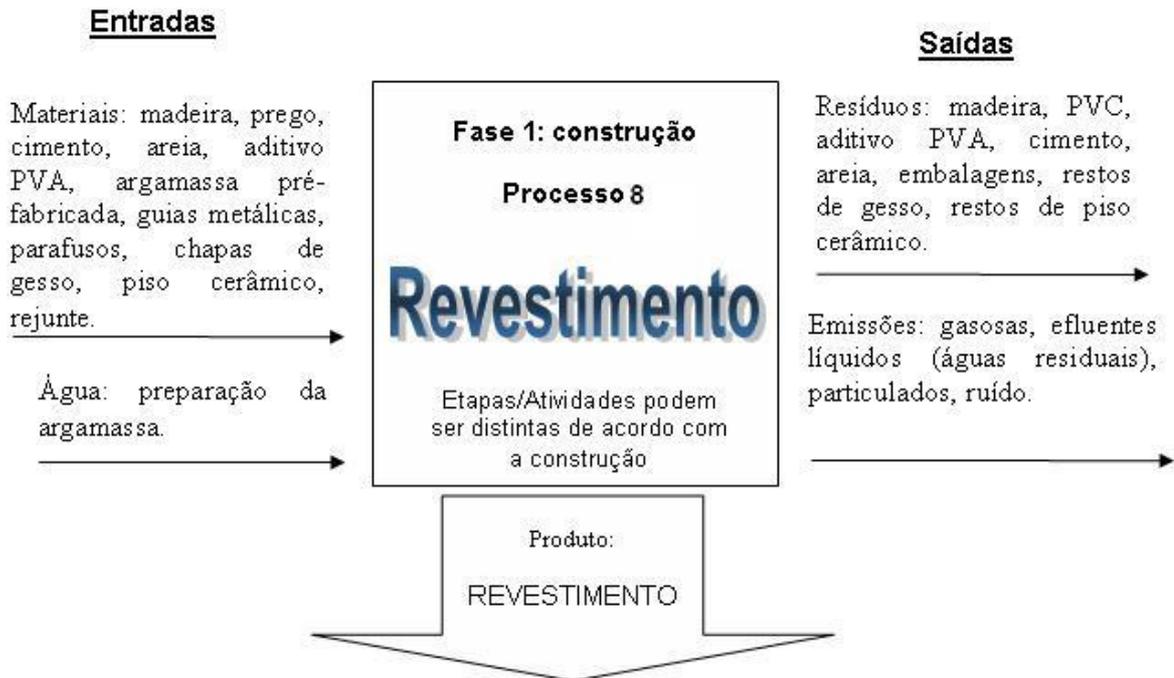


Figura 51 – Processo 8: Revestimento – Fase 1.
Fonte: Autor, 2012.

No estudo de caso, o construtor não diferenciou o tipo de tinta os ambientes externos e internos.

Resíduos de materiais e classificações:

- 1) Agregados, aglomerantes, restos de piso cerâmico: classe A – Reciclável como agregado;
- 2) Partes de madeira, gesso, embalagens e pregos: classe B – Reciclável;
- 3) Restos de aditivo: classe C – Não reciclável

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Emissões de gases para o ambiente, resíduos não recicláveis
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana e ecotoxicidade.
 - Categoria ponto final: doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.

2) Efluentes líquidos

- Categoria ponto médio: contaminação de solo, rios e lençóis.
- Categoria ponto final: degradação de ecossistemas.

3) Emissão de ruído

- Categoria ponto médio: ruído.
- Categoria ponto final: lesão aguda no sistema auditivo humano.

5.1.9 Processo 9 – Acabamento

O processo de acabamento de uma edificação envolve uma variedade de materiais que podem gerar contaminação ao meio-ambiente por suas composições químicas. Portanto, esse processo deve ser controlado e os seus resíduos destinados conforme as especificações.

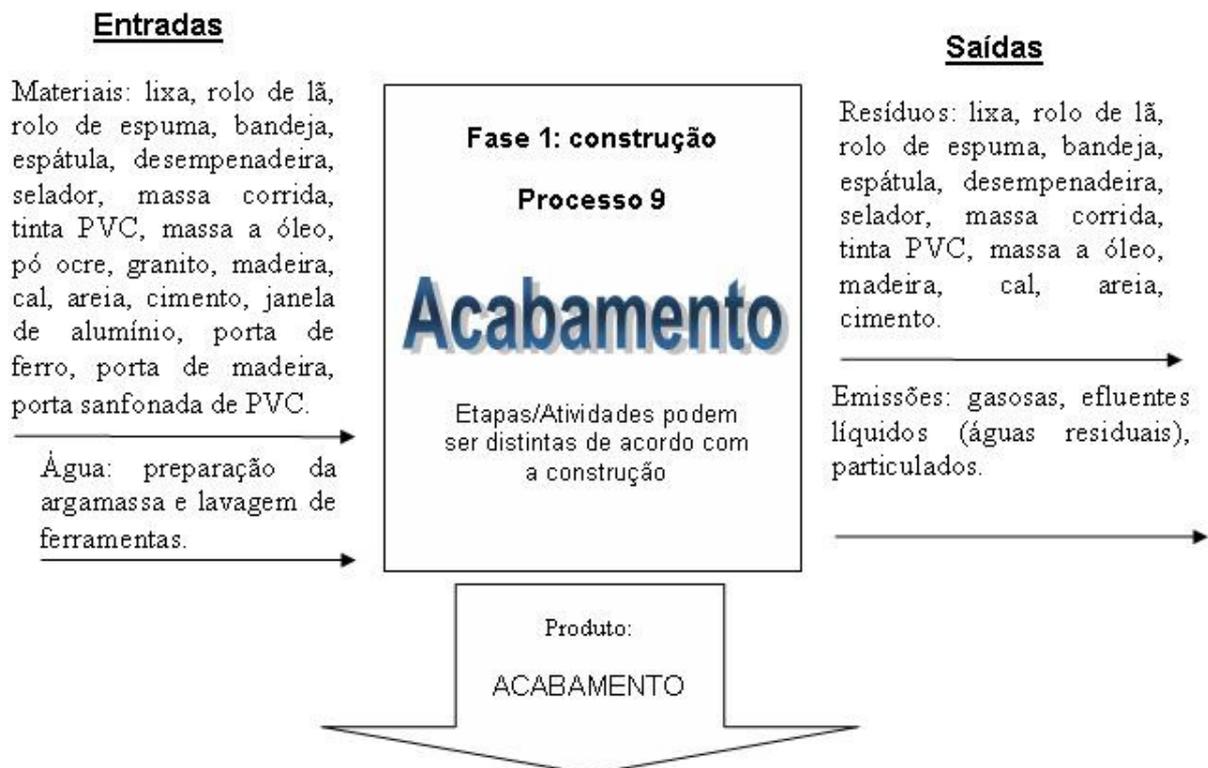


Figura 52 – Processo 9: Acabamento – Fase 1.
 Fonte: Autor, 2012.

Resíduos de materiais e classificações:

- 1) Agregados e aglomerantes: classe A – Reciclável como agregado;
- 2) lixa, rolo de lã, rolo de espuma, bandeja, espátula, desempenadeira, massa corrida, massa a óleo, madeira: classe B – Reciclável;
- 3) selador e tinta: classe D – Perigosos

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Emissões de particulados, gases para o ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana, ecotoxicidade, depleção do ozônio, criação de oxidante, mudanças climáticas, contaminação do solo e rios, acidificação da água.
 - Categoria ponto final: tipos de câncer, doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 2) Resíduos não biodegradáveis e não recicláveis lançados no meio-ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana e ecotoxicidade
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 3) Efluentes líquidos (águas residuais)
 - Categoria ponto médio: contaminação de solo, rios e lençóis.
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas, redução do volume de água doce.

5.1.10 Processo 10 – Louças e metais

As louças e os metais são escolhidos conforme o tipo de acabamento da edificação. Nesse estudo, esses elementos são de uso popular e disponível para custo e manutenção.

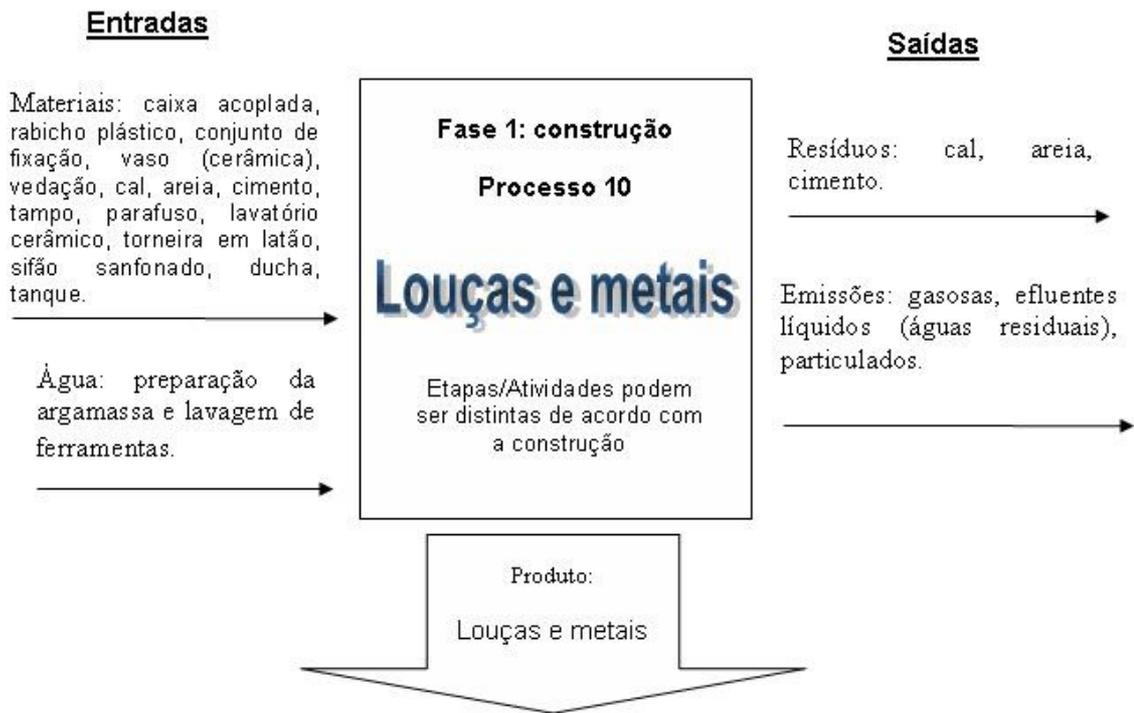


Figura 53 – Processo 10: Louças e metais – Fase 1.
Fonte: Autor, 2012.

Resíduos de materiais e classificações:

- 1) Agregados e aglomerantes: classe A – Reciclável como agregado;

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Emissões de particulados, gases para o ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana e ecotoxicidade.
 - Categoria ponto final: doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 2) Efluentes líquidos (águas residuais)

- Categoria ponto médio: contaminação de solo, rios e lençóis.
- Categoria ponto final: degradação de ecossistemas, redução do volume de água doce.

5.1.11 Processo 11 – Vidros

Os vidros podem ser escolhidos conforme suas características isolantes (térmicas) de acordo com a espessura que também proporciona conforto sonoro e suas características cristalinas para a iluminação.

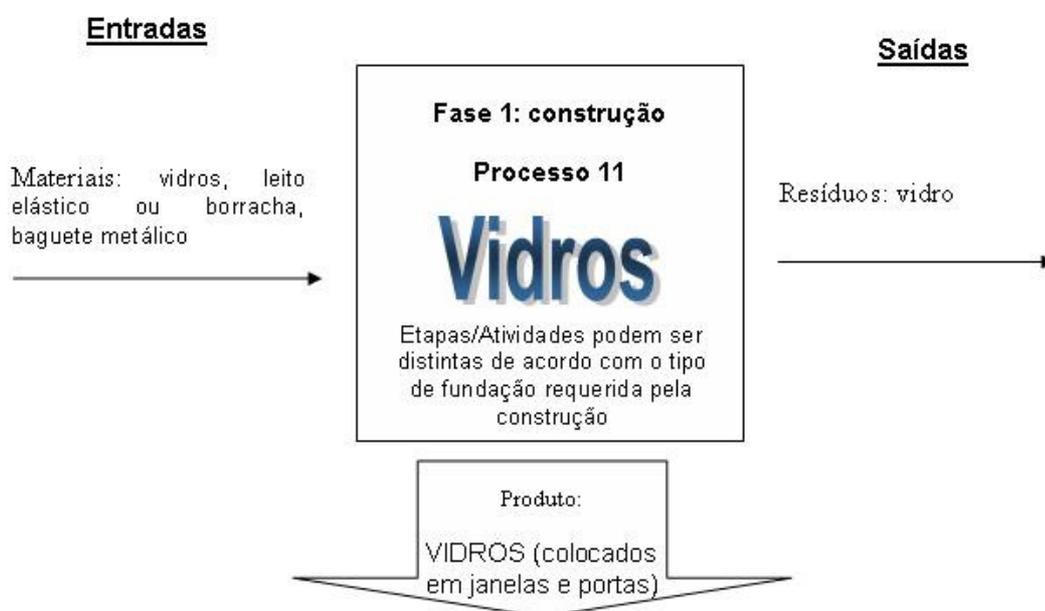


Figura 54 – Processo 11: Vidros – Fase 1.
Fonte: Autor, 2012.

Resíduos de materiais e classificações:

- 1) Vidros: classe B – Reciclável.

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Resíduos não biodegradáveis lançados no meio-ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana e ecotoxicidade
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.

5.1.12 Processo 12 – Transporte de materiais

O transporte de materiais é dinâmico durante toda a existência do canteiro, pois o cronograma da obra prevê entradas e saídas em intervalos de tempo pré-definidas relacionadas com as etapas da obra. Nesse processo estuda-se principalmente a movimentação dos veículos automotores.

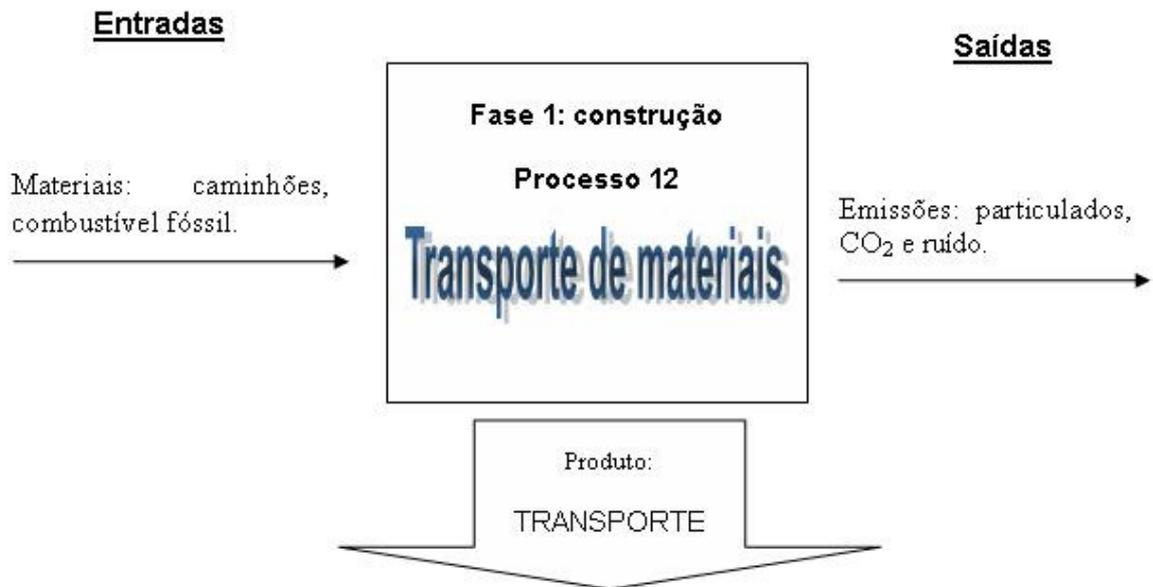


Figura 55 – Processo 12: Transporte de materiais – Fase 1.
Fonte: Autor, 2012.

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Emissões de gases para o ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana, ecotoxicidade, depleção do ozônio, mudanças climáticas, acidificação da água.
 - Categoria ponto final: doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 2) Emissão de ruído
 - Categoria ponto médio: ruído.
 - Categoria ponto final: lesão aguda no sistema auditivo humano.

5.2 PROCESSOS DA FASE 2: USO E OPERAÇÃO

Esta fase possui três processos principais para levantamento quantitativo e qualitativo dos insumos, saídas e potenciais impactos. É a fase com maior intervalo de tempo do ciclo de vida das edificações. A manutenção da edificação e os hábitos dos usuários interferem diretamente nos resíduos e emissões ao longo dessa fase.

5.2.1 Processo 1 – Pintura

O processo PINTURA na fase de uso e operação pode ser feito de acordo com a necessidade estética do usuário ou para proteção do acabamento, interno e externo. A escolha de cores claras beneficia a iluminação e reduz o consumo de energia. Outra medida utilizada atualmente é pintar o telhado de branco para refletir a radiação solar.

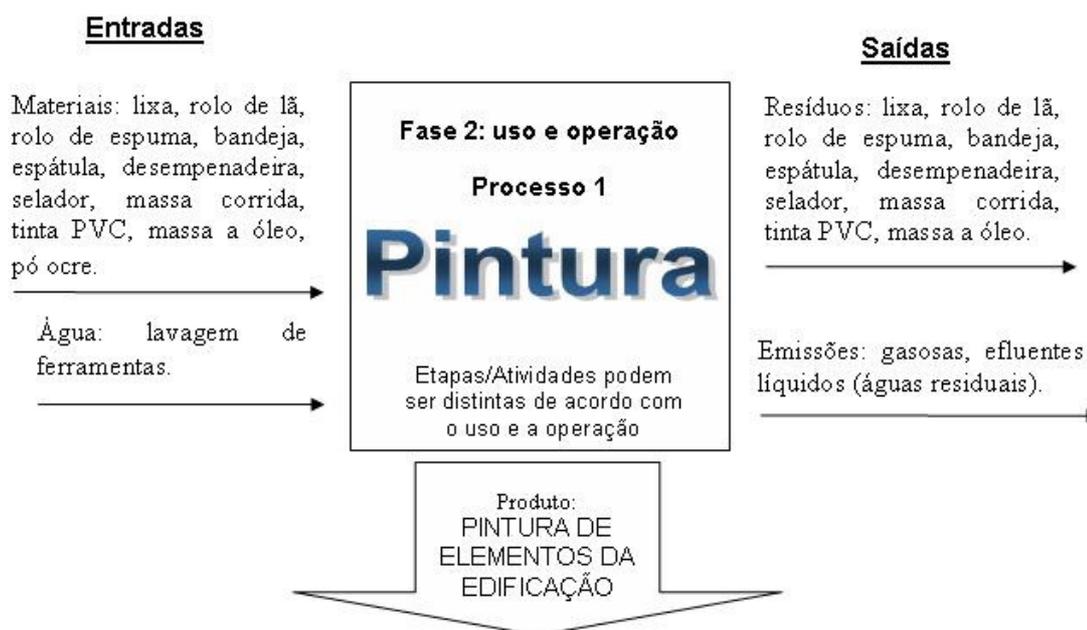


Figura 56 – Processo 1: Pintura – Fase 2.
Fonte: Autor, 2012.

Resíduos de materiais e classificações:

- 1) lixa, rolo de lã, rolo de espuma, bandeja, espátula, desempenadeira, massa corrida, massa a óleo, madeira: classe B – Reciclável;
- 2) selador e tinta: classe D – Perigosos

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Emissões de gases para o ambiente resíduos perigosos
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana, ecotoxicidade, depleção do ozônio, criação de oxidante, mudanças climáticas, contaminação do solo e rios.
 - Categoria ponto final: tipos de câncer, doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 2) Resíduos não biodegradáveis lançados no meio-ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana e ecotoxicidade
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 3) Efluentes líquidos (águas residuais)
 - Categoria ponto médio: contaminação de solo, rios e lençóis.
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas, redução do volume de água doce.

5.2.2 Processo 2 – Recuperação da cobertura

A cobertura possui uma vida útil proporcional à exposição das intempéries climáticas locais, por exemplo a “chuva ácida” causada pela poluição em grandes centros. No entanto, sua manutenção é imprescindível à proteção da edificação para alcance da vida útil.

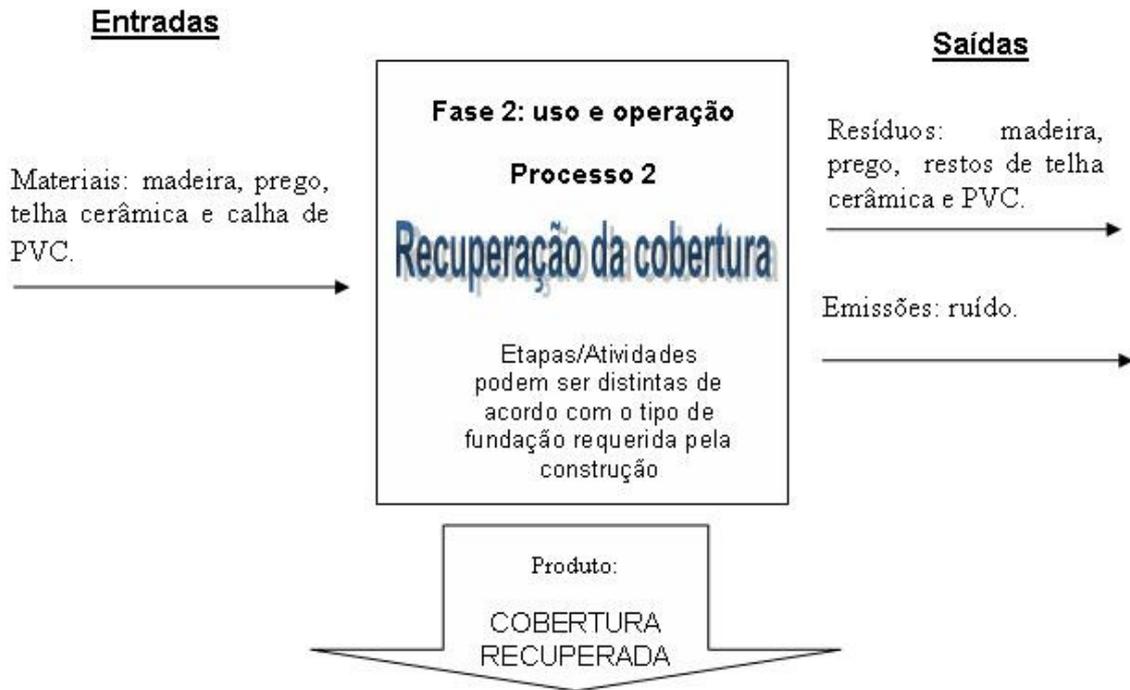


Figura 57 – Processo 2: Recuperação da cobertura – Fase 2.
Fonte: Autor, 2012.

Resíduos de materiais e classificações:

- 1) Telha cerâmica: classe A – Reciclável como agregado;
- 2) Madeira, prego e PVC: classe B – Reciclável;

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Resíduos não recicláveis lançados no meio-ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana e ecotoxicidade.
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas
- 2) Emissão de ruído
 - Categoria ponto médio: ruído.
 - Categoria ponto final: lesão aguda no sistema auditivo humano.

5.2.3 Processo 3 – Manutenção das instalações

Tratando-se de instalações, a recomendação é a manutenção preventiva que planeja limpeza e inspeção constante para manter o bom funcionamento das mesmas. Em relação às instalações hidro-sanitárias, os problemas mais freqüentes são os vazamentos de água tratada (perdas) e de águas residuais (contaminação) que podem ocasionar outros problemas na edificação, como as infiltrações. Já as instalações elétricas, sem manutenção e uso inapropriado, podem causar riscos como um curto circuito pela sobrecarga na instalação atual levando a um provável incêndio. Pela norma NBR 15.575/2008, o projetista e o construtor respondem por uma vida útil de 20 anos das instalações.

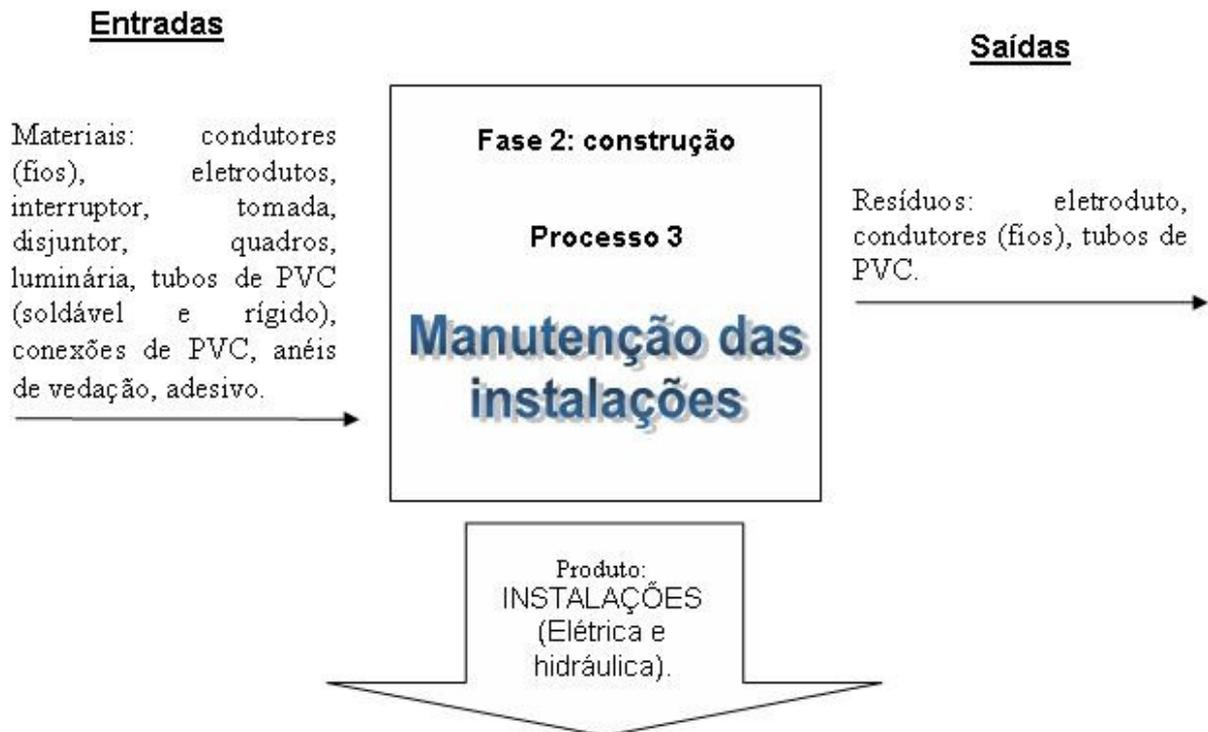


Figura 58 – Processo 3: Manutenção das instalações – Fase 2.
Fonte: Autor, 2012.

As águas residuais (esgotos primários e secundários) são coletadas para a rede pública para serem tratadas. O processo de purificação dessas águas é dispendioso em custo e tempo. Então, algumas medidas podem ser tomadas para redução do volume nas edificações. Um exemplo é a utilização de caixas de descarga acopladas aos vasos sanitários com opção de acionamento apenas de dejetos líquidos. O volume de uma caixa de descarga é de 6 litros, com a opção do

acionamento apenas para dejetos líquidos, há uma economia de 3 litros de água em cada descarga.

Resíduos de materiais e classificações:

- 1) Condutores (fios), eletroduto e partes de tubos de PVC: classe B – Reciclável;
- 2) Restos de adesivo para PVC: classe C – Não reciclável.

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Emissões de gases para o ambiente, resíduos não recicláveis
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana e ecotoxicidade.
 - Categoria ponto final: doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 2) Efluentes líquidos
 - Categoria ponto médio: contaminação de solo, rios e lençóis.
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas, doenças por parasitas, redução do volume de água doce.

5.3 PROCESSOS DA FASE 3: FIM DE VIDA – DEMOLIÇÃO – DESMANTELAMENTO

As decisões tomadas na fase de fim de vida de uma edificação podem inferir diretamente na geração de resíduos e danos ao meio-ambiente como o desperdício de recursos naturais. No Brasil, não existe um padrão de atividades nas demolições, apenas recomendações de segurança e usos de equipamentos. Esse estudo se propõe a colaborar no planejamento dessas atividades com processos que visam a reutilização e reciclagem dos resíduos gerados, minimizando os possíveis impactos. A fase três possui seis processos.

5.3.1 Processo 1 – Seleção primária de materiais

O primeiro processo trata da seleção e retirada dos materiais que podem ser reutilizados. Uma vistoria inicial seleciona todos os materiais e elementos de construção que ainda possuam boas condições de uso e as possibilidades da retirada dos mesmos sem grandes danos. Os materiais e os elementos de construção podem ser reutilizados em outras edificações sem custo com o beneficiamento, como por exemplo, as esquadrias de alumínio.

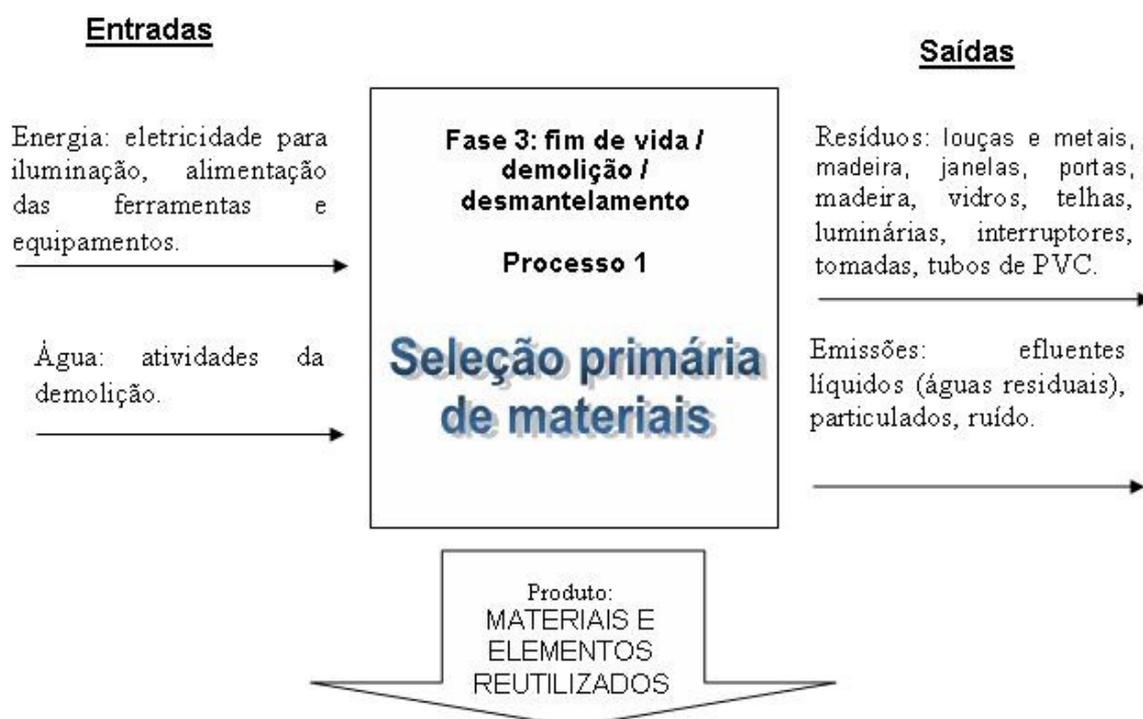


Figura 59 – Processo 1: Seleção primária de materiais – Fase 3.
Fonte: Autor, 2012.

Resíduos de materiais e classificações: A maioria dos materiais e elementos que estiverem em bom estado serão retirados e reutilizados para outras edificações. Durante o processo, podem ocorrer problemas com as retiradas e possivelmente gerar resíduos.

- 1) Agregados, aglomerantes e telhas: classe A – Reciclável como agregado
- 2) Madeira, fios elétricos, pregos, PVC, vidros: classe B – Reciclável;

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Emissões de particulados, gases para o ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana, ecotoxicidade, contaminação do solo e rios.
 - Categoria ponto final: doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 2) Resíduos não biodegradáveis lançados no meio-ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana e ecotoxicidade
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 3) Efluentes líquidos (águas residuais)
 - Categoria ponto médio: contaminação de solo, rios e lençóis, acidificação do solo.
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas, redução do volume de água doce.
- 4) Emissão de ruído
 - Categoria ponto médio: ruído.
 - Categoria ponto final: lesão aguda no sistema auditivo humano.

5.3.2 Processo 2 – Demolição

As demolições de edificações de pequeno porte, geralmente, são manuais com ferramentas simples como uma marreta e um cinzel. Equipamentos elétricos portáteis, como uma furadeira, auxiliam a retirada, quando necessário. Aspectos de segurança de operários e edificações vizinhas devem ser executados antes do início

da demolição. É necessária também a observação de vegetação protegida por lei ambiental que deve ser conservada.

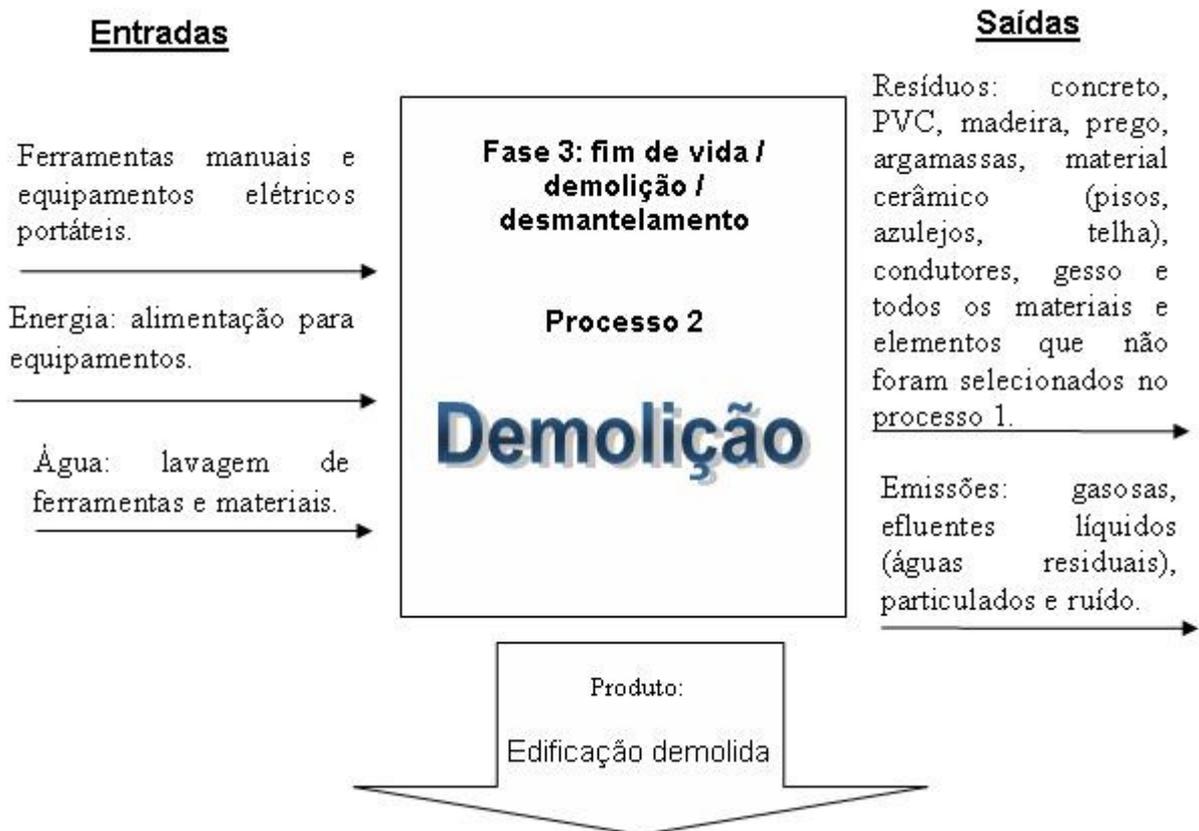


Figura 60 – Processo 2: Demolição – Fase 3.
Fonte: Autor, 2012.

Resíduos de materiais e classificações:

- 1) Agregados, aglomerantes, materiais cerâmicos: classe A – Reciclável como agregado
- 2) Madeira, fios elétricos, pregos, PVC, vidros, gesso: classe B – Reciclável;

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Emissões de particulados, gases para o ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana, ecotoxicidade, contaminação do solo e rios.

- Categoria ponto final: doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 2) Resíduos não biodegradáveis lançados no meio-ambiente
- Categoria ponto médio: toxicidade humana e ecotoxicidade
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 3) Efluentes líquidos (águas residuais)
- Categoria ponto médio: contaminação de solo, rios e lençóis, acidificação do solo.
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas, redução do volume de água doce.
- 4) Emissão de ruído
- Categoria ponto médio: ruído.
 - Categoria ponto final: lesão aguda no sistema auditivo humano.

5.3.3 Processo 3 – Seleção secundária de materiais

A seleção secundária de materiais ocorre durante e no final da demolição. Os materiais pétreos, como cimento, areia, brita, cerâmica, são separados em diferentes tamanhos conforme o desmoronamento e concentrados em uma área para seu futuro aproveitamento. Os materiais pétreos podem ser triturados e utilizados como agregados em construções e pavimentações, desde que o grau de impureza, presença de cloretos, sulfatos e matéria orgânica, seja controlado para a aplicação.

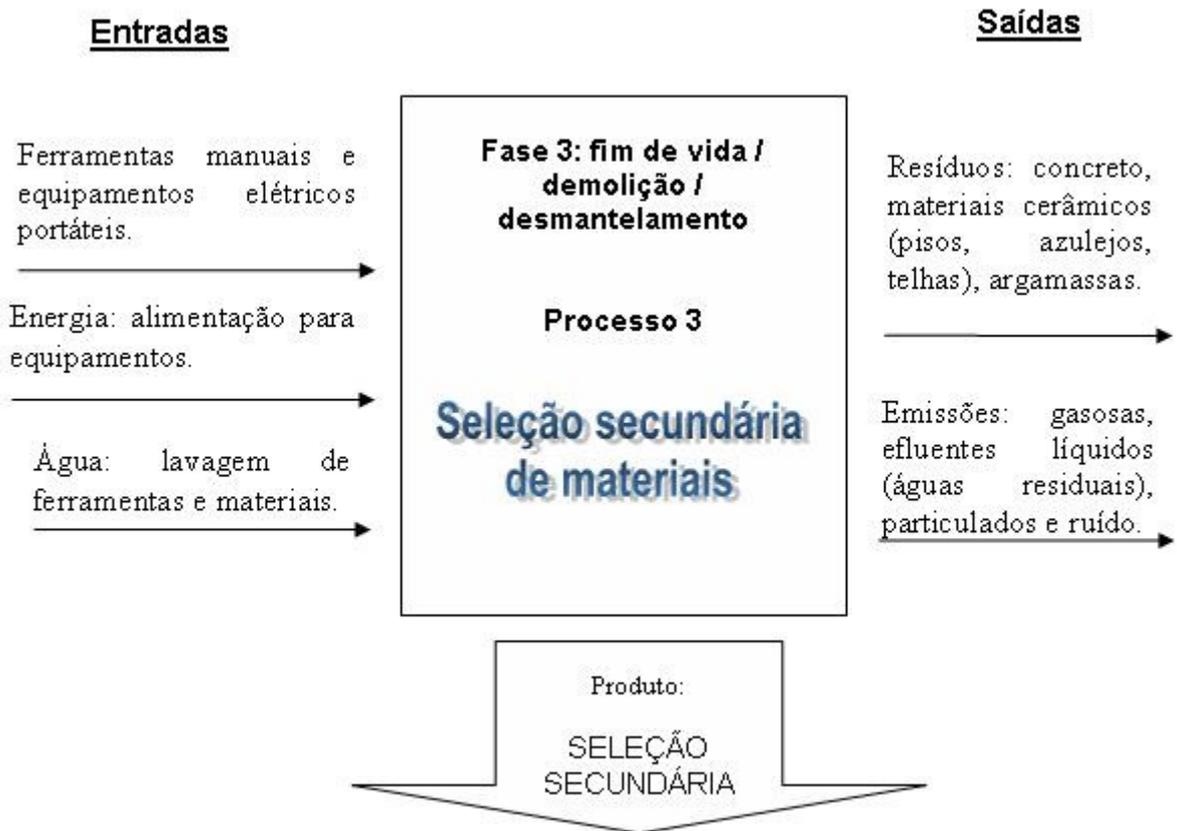


Figura 61 – Processo 3: Seleção secundária – Fase 3.
Fonte: Autor, 2012.

Resíduos de materiais e classificações:

- 1) Agregados, aglomerantes, materiais cerâmicos: classe A – Reciclável como agregado

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Emissões de particulados, gases para o ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana, ecotoxicidade, contaminação do solo e rios.
 - Categoria ponto final: doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 2) Resíduos não biodegradáveis lançados no meio-ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana e ecotoxicidade

- Categoria ponto final: degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 3) Efluentes líquidos (águas residuais)
- Categoria ponto médio: contaminação de solo, rios e lençóis, acidificação do solo.
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas, redução do volume de água doce.
- 4) Emissão de ruído
- Categoria ponto médio: ruído.
 - Categoria ponto final: lesão aguda no sistema auditivo humano.

5.3.4 Processo 4 – Transporte de resíduos

O transporte de resíduos pode ser realizado pelo construtor ou por uma empresa da área de coleta de resíduos. Recomenda-se que seja contratada uma empresa especializada para manejar o resíduo de forma segura e não poluidora. As escolhas para os destinos dos resíduos interferem na produção de CO₂, através do transporte, devido às distâncias percorridas.

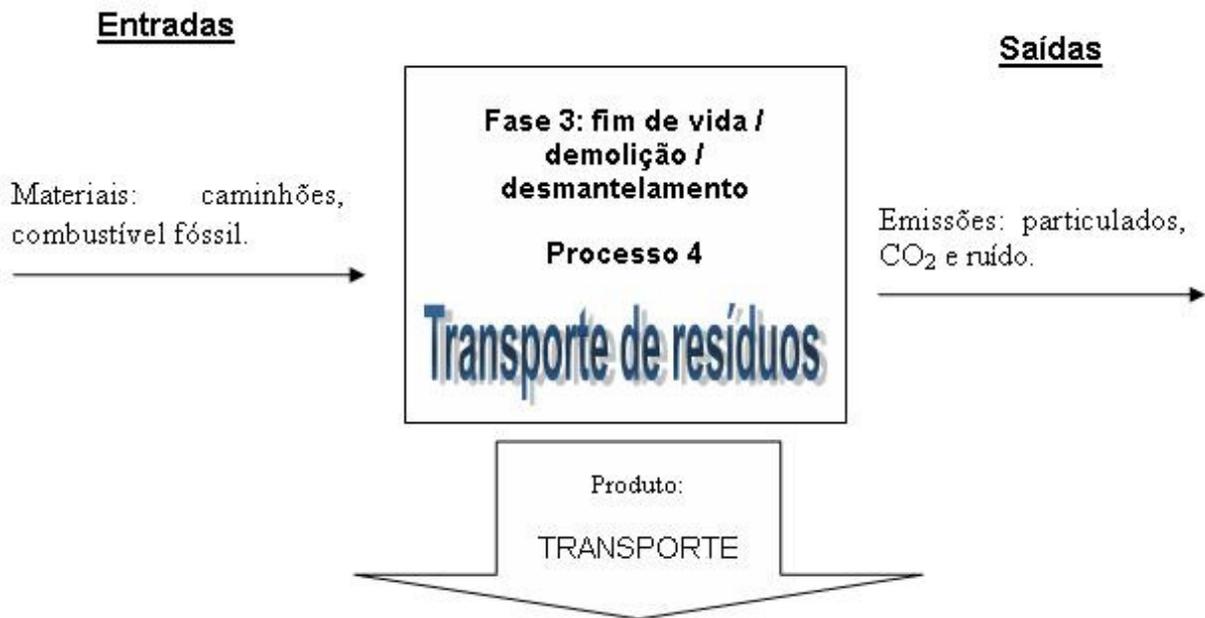


Figura 62 – Processo 4: Transporte de resíduos – Fase 3.
Fonte: Autor, 2012.

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Emissões de gases para o ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana, ecotoxicidade, depleção do ozônio, mudanças climáticas, acidificação da água.
 - Categoria ponto final: doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 2) Emissão de ruído
 - Categoria ponto médio: ruído.
 - Categoria ponto final: lesão aguda no sistema auditivo humano.

5.3.5 Processo 5 – Reciclagem / disposição final

Recomenda-se que os resíduos sejam levados para uma central de seleção e classificação para definição do seu destino: reciclagem, incineração e aterro. Os resíduos que serão reciclados e incinerados devem ser encaminhados às usinas de tratamento. Já os aterros sanitários recebem os demais resíduos. Essas atividades

gem muitos impactos; a reciclagem e a incineração requerem energia e produzem emissões; o aterro sanitário contamina o solo, a água e o ar.

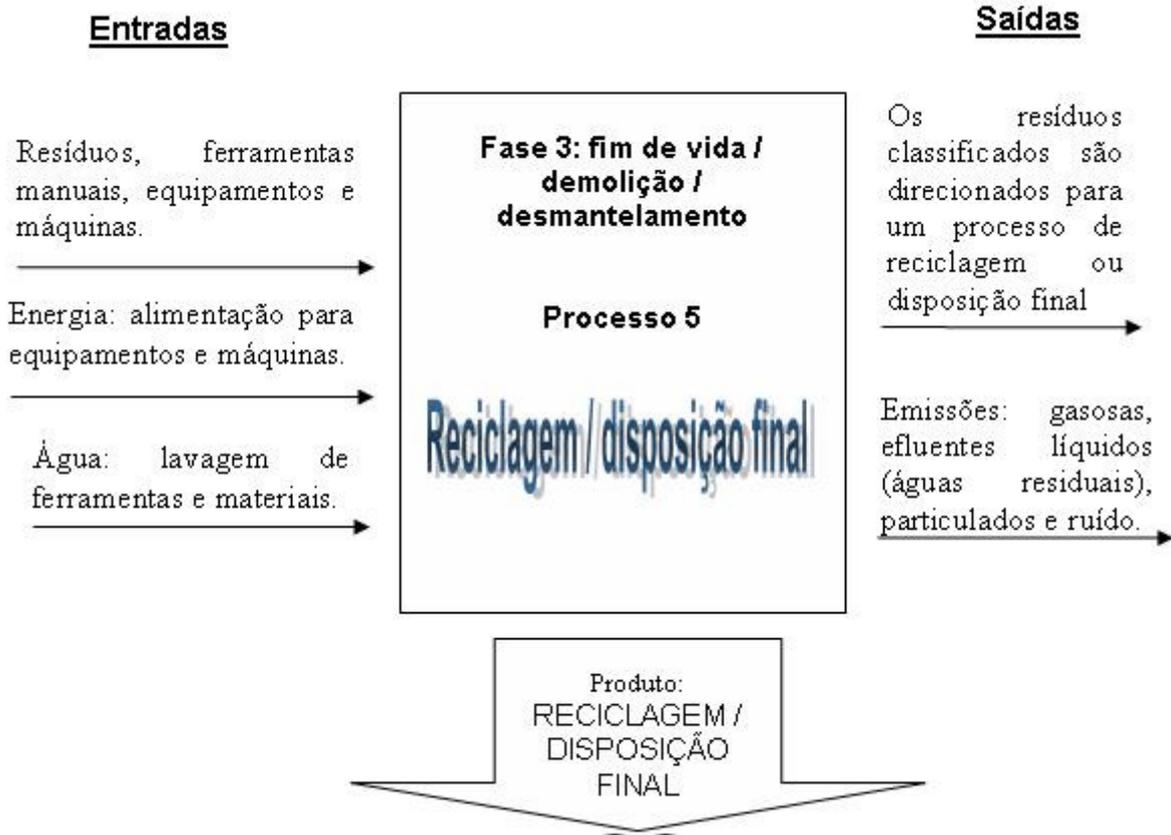


Figura 63 – Processo 5: Reciclagem / disposição final – Fase 3.
Fonte: Autor, 2012.

Resíduos de materiais e classificações:

- 1) Agregados, aglomerantes e cerâmicas: classe A – Reciclável como agregado
- 2) Madeira, fios elétricos, pregos, PVC, vidros, metais: classe B – Reciclável;
- 3) Argamassa com cal, gesso: classe C – Não reciclável
- 4) Tintas, resinas: classe D - perigosos

Neste processo, as seguintes saídas tornar-se-ão potencialmente impactos:

- 1) Emissões de particulados, gases para o ambiente e resíduos perigosos
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana, ecotoxicidade, depleção do ozônio, criação de oxidante, mudanças climáticas, contaminação do solo e rios, acidificação da água.
 - Categoria ponto final: tipos de câncer, doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 2) Resíduos não biodegradáveis lançados no meio-ambiente
 - Categoria ponto médio: toxicidade humana e ecotoxicidade
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
- 3) Efluentes líquidos (águas residuais)
 - Categoria ponto médio: contaminação de solo, rios e lençóis, acidificação do solo.
 - Categoria ponto final: degradação de ecossistemas, redução do volume de água doce.
- 4) Emissão de ruído
 - Categoria ponto médio: ruído.
 - Categoria ponto final: lesão aguda no sistema auditivo humano.

O local da edificação do estudo de caso, em Mutuapira, São Gonçalo não possui usina de reciclagem e compostagem. Na cidade de São Gonçalo existe uma usina de reciclagem para resíduos sólidos, porém suas atividades estão paralisadas no momento. As opções mais próximas, para reduzir o consumo de combustível fóssil e a produção de CO₂, é a usina de reciclagem localizada na cidade de Rio das

Ostras com uma distância a ser percorrida de aproximadamente 137 Km. E a usina de reciclagem em Seropédica com uma distância de aproximadamente 95 Km.

5.4 AVALIAÇÃO DO MÉTODO E DOS PROCESSOS

A modelagem dos processos e seus produtos apresentam informações importantes para a identificação de critérios para a aplicação e a modelagem da ACV em edificações. Com os dados organizados, selecionados e classificados referentes aos processos das respectivas fases, surge a possibilidade de padronização nas atividades e fluxos do ciclo de vida de uma edificação popular. Dessa forma, estrutura-se um modelo para o uso de construtores e usuários na tomada de decisão de diversos aspectos como a escolha de materiais e técnicas construtivas ou a compra de imóveis pelas características de consumo de energia, custo de manutenção e vida útil.

A partir dos resultados observados é possível identificar:

- as principais entradas e saídas relacionadas atividades dos processos;
- os produtos referentes a cada processo;
- os resíduos gerados;
- as emissões geradas;
- a classificação dos resíduos sólidos quanto ao tipo;
- os potenciais impactos ambientais;
- a classificação dos impactos ambientais quanto a categoria (midpoint e endpoint);
- o consumo de energia;
- o consumo de água;
- alternativas na reciclagem;

- a dinâmica das atividades e o volume dos recursos consumidos dentro de cada fase do ciclo de vida para decisões quanto ao uso, a demolição e futuras edificações ao serem construídas.

A principal vantagem da metodologia é a maneira global, gráfica e material de organizar e analisar o setor da construção, que pode ser implementado para escalas diferentes, mostrando o funcionamento das atividades analisadas fornecendo indicadores ambientais.

Os desafios do método é a aquisição de dados completos e de boa qualidade devido a informalidade do subsetor de edificações. Ele pode ser utilizado em qualquer escala e região, desde que os acervos e as estatísticas oficiais para a região em análise estejam disponíveis.

Entre as considerações de uso da metodologia recomenda-se que os dados sejam compilados de forma sistemática, anualmente, em unidades de massa, sem mudanças nos termos de quantificação ao longo do período de estudo.

Outras considerações são pertinentes ao estudo como as escolhas dos sistemas construtivos que podem impactar, de forma quantitativa e qualitativa, o consumo dos recursos, da energia e da água no sistema. Uma obra executada com estruturas pré-fabricadas pode reduzir de forma considerável as perdas de materiais e as emissões que atualmente não são controladas nos canteiros. Porém, as emissões e resíduos numa indústria possuem controle exigido por lei e obedecem a padrões internacionais.

A cadeia de suprimentos da indústria da construção pode utilizar resultados do modelo para uma projeção de produção para o setor habitacional nos próximos anos, pois são apresentados os materiais típicos utilizados por construtores de pequeno porte. A cadeia pode absorver as diretrizes sustentáveis (seção 4.3.6) para encontrar processos de fabricação menos poluidores e certificações ambientais, gerando vantagem competitiva sobre a concorrência de mercado.

Outro aspecto importante é a preocupação com o desempenho técnico e ambiental dos materiais utilizados pelo construtor. A integração da técnica construtiva adequada com o material apropriado colabora para as metas de

desempenho e sustentabilidade da edificação. As variações do uso também impactam as predições de projeto e do uso de materiais em uma edificação. É importante salientar a responsabilidade do usuário durante a fase de uso e operação da edificação. Os hábitos de consumo, como água e energia, geram os maiores impactos devido ao longo período de tempo dessa fase. Outra medida importante é a manutenção preventiva que reduz desperdícios e o volume de custos com materiais. Essas decisões podem favorecer a vida útil da edificação.

Verificou-se também a necessidade de uma gestão de resíduos sólidos mais eficaz por parte dos municípios. Por exemplo, as usinas de reciclagem que estão paralisadas ou desativadas; a implantação e adequação da coleta seletiva; a falta de conhecimento e investimento no tratamento dos resíduos e as alternativas de reciclagem, como escória de alto forno, sucata de aço, cinzas volantes, entre outros.

Com a observação dos resultados, percebe-se a existência de algumas questões a serem melhoradas pelo método proposto.

- O método necessita incluir um procedimento de seleção de indicadores (CML, Ecoindicador 99, EDIP,...) e uma planilha com os cálculos dos indicadores;
- Criar diretrizes sustentáveis com ênfase nos aspectos sócio-econômicos;
- Estimar o consumo de materiais e geração dos resíduos para uma normatização e padronização, com o objetivo de comparar construções em diferentes regiões do país;
- Quantificar os fluxos de materiais entre as diferentes fases do ciclo de vida.

5.5 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS DO MODELO

Os resultados do modelo podem produzir indicadores sócio-econômicos para o setor de construção em aspectos sustentáveis. Com base nesses indicadores é possível a criação de políticas públicas, investimentos e intervenções na cadeia construtiva.

Aspectos sociais sustentáveis estão direcionados ao bem estar coletivo da atual e das futuras gerações em relação ao compartilhamento de recursos, a qualidade de vida e ao desenvolvimento do ser humano.

A procura de operários num perímetro próximo a obra é uma medida para diminuir o impacto ambiental em relação a emissões, já que diminui a distância de deslocamento feita geralmente por veículos automotores. Mas também, uma forma da construção trazer indicadores positivos sociais, como a oferta de trabalho, para a sociedade local.

Os construtores devem seguir as leis trabalhistas, contratando trabalhadores formais para assegurar direitos que os mesmos possuem. Os empregos formais geram renda e crescimento econômico impactando na qualidade de vida do cidadão e na economia.

A implantação de centrais de seleção e das usinas em locais estratégicos para a coleta de resíduos oferece desenvolvimento local com oferta de emprego e diminuição do uso de aterros sanitários, onde muitas pessoas procuram subsistência e há grande contaminação do ambiente.

O governo deve incentivar campanhas educativas para elucidar os aspectos da sustentabilidade, como o consumo de materiais, o uso consciente da energia e da água, a necessidade da separação do lixo e diretrizes ambientais. Em conjunto, há a necessidade de leis ambientais rigorosas e exeqüíveis para um controle preciso dos recursos e consumos do país.

A utilização das diretrizes sustentáveis com ênfase social pode propiciar a adequação de estrutura de trabalho, geração de empregos e saúde ocupacional.

Aspectos econômicos sustentáveis também são relevantes para a melhoria dos temas ligados à produção, à distribuição e ao consumo de bens e serviços.

Os estudos direcionados ao aproveitamento máximo dos materiais junto às técnicas construtivas produzem a redução dos desperdícios de materiais e de energia. Impactando diretamente os custos de qualquer edificação em todas as fases do ciclo de vida.

O planejamento da construção da edificação e o seu uso também trazem benefícios ao longo do ciclo de vida para construtores e usuários.

As empresas que produzem materiais de construção com certificados ambientais possuem vantagem competitiva na concorrência de mercado, visto a disseminação de informações sobre a preocupação ambiental pelos principais meios de comunicação.

A exploração dos recursos naturais deve ser contabilizada com responsabilidade e não apenas para obtenção de lucro. O esgotamento dos recursos e a deterioração dos ecossistemas trazem impactos ambientais, sociais e econômicos para toda a sociedade.

5.6 O MODELO E OS APLICATIVOS

Atualmente, estão disponíveis no mercado uma grande quantidade e tipos de aplicativos para o uso da Avaliação do Ciclo de Vida devido à importância do tema em questões ambientais e sua complexidade de cálculos.

Através da pesquisa sobre o funcionamento dos softwares para a ACV e a proposta do modelo, esse trabalho sintetiza as especificações de uso dos aplicativos para suporte nas decisões de compra, para grupos de pesquisa, empresas e usuários, dado o custo elevado de mercado.

Na seção 3.4, foram descritas as características de estrutura e aplicações dos softwares mais conhecidos. Apesar da abrangência e das limitações de cada aplicativo, a qualidade dos dados de entrada é preponderante em qualquer modelagem computacional e deve ser prioridade na aplicação da ACV. Através da literatura nessa área, pode se concluir que a meta dos usuários, nas modelagens computacionais, é obter resultados quantitativos fornecidos pelos softwares. A preparação e a validação dos dados ocupam valor secundário no planejamento.

Outra semelhança na literatura com o uso dos resultados desses softwares são as comparações de estudos de caso com dados de entrada não padronizados e não compatíveis para inferências. O setor de construção possui múltiplas alternativas para técnicas construtivas, exploração, consumo de materias, tipologia

arquitetônica entre outros fatores com características locais. A comparação de dados sem padronização e de perfil distintos podem fornecer conclusões errôneas para o desdobramento de estudos da ACV na construção. Essa afirmativa também se aplica ao uso de bancos de dados não compatíveis com a realidade dos processos de extração de matéria-prima e os industriais, dos materiais utilizados e das técnicas construtivas empregadas.

O uso de softwares para a modelagem da ACV é de suma importância para os estudos, dada a complexidade dos procedimentos, uso do banco de dados, volume de informações levantadas e os cálculos para obtenção dos resultados. Contudo, ressalta-se nesse trabalho o controle, a qualidade e a influência dos dados de entrada da modelagem. Com esse intuito, esse trabalho contribui com a criação de um método para organizar, classificar e selecionar os dados que vão alimentar os softwares, em geral.

6 CONCLUSÕES

O avanço do desenvolvimento, as atividades humanas e a produção industrial demandam um aumento do consumo de recursos naturais e energia. Nessa mesma intensidade surge a geração de resíduos e seus impactos ao meio ambiente.

O presente trabalho demonstra que existem diferenças importantes nas técnicas construtivas, padrões de consumo nos processos construtivos, materiais, fontes de energia e gestão de resíduos. Portanto, a concepção desse trabalho abrange uma pesquisa multidisciplinar, desde as especificações técnicas pertencentes ao subsetor de edificações até as diretrizes dos aspectos da sustentabilidade para a tomada de decisão.

O diagnóstico qualitativo realizado no capítulo 5 da presente tese, gera uma base de dados qualitativa que pode ser aplicada por qualquer operador de simuladores computacionais como dados de entrada do software.

Conforme detalhado ao longo dos capítulos, esta tese propõe uma metodologia que auxilie a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida em edificações para o desdobramento de uma modelagem em forma de um sistema. As fronteiras desse sistema devem ser definidas conforme os objetivos do estudo. O modelo inicia com a investigação das metas correlacionadas com os aspectos da sustentabilidade, com o uso de uma matriz correlacional. Após a caracterização do sistema e o levantamento dos dados faz-se um mapeamento dos processos baseados especificações de projeto, nas técnicas construtivas e nos materiais utilizados. Os resultados do modelo possuem características qualitativas e quantitativas dos elementos da ACV de uma edificação em forma gráfica e analítica.

O modelo contribui para a padronização dos dados para a construção de uma modelagem computacional; oferece diretrizes sustentáveis para as diferentes fases do ciclo de vida de uma edificação; recomenda o uso de softwares conforme suas aplicações e fornece suporte a gestão de resíduos.

Ao final deste trabalho, é possível expor algumas considerações a respeito do modelo, como:

- A descrição do perfil ambiental da edificação, inserida na tipologia e classificação sócio-econômica;
- a contribuição para a sustentabilidade, especificamente no subsetor de edificações, diminuindo o consumo da matéria prima, energia e a geração de emissões e resíduos;
- a padronização de critérios e dados;
- os resultados capazes de contribuir para a sustentabilidade na exploração, na fabricação e na escolha de materiais de construção mais adequados ao meio ambiente e técnicas construtivas, através dos resultados obtidos utilizando os dados compilados locais.

O método oferece diretrizes nas delimitações iniciais de uma ACV em edificações como o levantamento dos aspectos climáticos, tecnológicos, econômicos, sociais e culturais, já que uma edificação residencial padrão possui a mesma função em qualquer lugar do mundo, fornecer proteção e moradia para os seus habitantes. No entanto, as vantagens de optar por um projeto de baixo impacto ambiental e energético desde a concepção do projeto arquitetônico, são quantificadas ao longo do ciclo de vida da edificação. Assim como a contribuição individual na diminuição dos impactos ambientais.

A Avaliação do Ciclo de Vida constitui uma ferramenta recente e em desenvolvimento. A sua aplicação deve seguir as recomendações normatizadas e ferramentas auxiliares nos procedimentos em relação aos dados. A apropriada utilização da ACV pode ajudar a encontrar parâmetros e soluções viáveis para o setor da construção que minimizem os impactos ambientais por todo o mundo.

Propõe-se um aprofundamento de pesquisa a partir desse estudo para trabalhos futuros, visto a complexidade desse assunto e suas muitas vertentes.

- Ressalta-se a necessidade de aplicações em modelagens mais próximas do estudo de caso real e uma maior dedicação a padronização dos dados de entrada para softwares.
- Efetuar modelagens computacionais com diferentes métodos para as categorias de impactos e bancos de dados com uma profunda análise comparativa.
- Aprimorar o método para abranger todas as fases do ciclo de vida.
- Pesquisar os potenciais impactos sociais e econômicos do sistema.

REFERÊNCIAS

_____. NBR 15575: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Conjunto de seis partes. ABNT. Rio de Janeiro. 2008.

_____. NBR 5671: Participação dos intervenientes em serviços e obras de engenharia e arquitetura. ABNT. Rio de Janeiro. 1991. 10p.

_____. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. ABNT. Rio de Janeiro. 2007. 221p.

_____. NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. ABNT. Rio de Janeiro. 2004. 71p.

A CONSUMER GUIDE TO SUSTAINABLE CONSUMPTION. **Consumers International** Homepage. <http://www.consumersinternational.org/> 1999.

ADETUNJI, I.; PRINCE, A.; FLEMING, P. **Achieving sustainability in the construction supply chain**. Proceeding of the 2008 Engineering Sustainability Conference, ES3, 161. 2008.

AGÊNCIA BRASIL: <http://www.brasil.gov.br/noticias/arquivos/2011/02/11/construcao-civil-espera-crescer-mais-que-o-pib-brasileiro-este-ano-diz-cbic>. (2011).

ANDERSON, J. e Mills, K. **BRE IP9/02 Part 1: Refurbishment or Redevelopment of Office Buildings?** Sustainability Comparison, BRE Centre for Sustainable Construction, Watford. 2002.

ANGULO, S. C.; JOHN, V. M.; ULSEN, C.; KAHN, H. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados separados por líquidos densos**. Anais. In: I Conferência Latino Americana de Construção Sustentável. São Paulo, 2004, 13 p

ANTON, A.; MONTERO, J. I.; CASTELLS, F. **Life cycle assessment: a tool to evaluate and improve the environmental impact of Mediterranean greenhouses**. Acta Horticulturae. International Society for Horticultural Science (ISHS). Leuven–Belgium. N. 614, Vol 1, p. 35-40, 2003.

ASHBY, M. F. **Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice**. Ed. Butterworth-Heinemann. 385p. 2009.

AS-NZS 4360-2004. **Risk Management** (Australia Standards New Zealand – Risk management). 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO 14.040**. Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura. 2006. Rio de Janeiro, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO14044**. Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura. 2006. Rio de Janeiro, Brasil.

ATKINSON, W. **Hilton's supply chain ready for anything heading into hurricane season**. Purchasing, Vol. 135, No. 12, p. 24, 2006.

AZEVEDO, J. **Ferramenta para análise de dados socioeconômicos e ambientais para definição de políticas públicas, Estudo de Caso, Bacia ambiental do Rio Imboassu, Município de São Gonçalo/RJ**, 2006. 200p. Tese (Doutorado), Universidade Federal Fluminense.

BANKVALL, L.; BYGBALLE, L.; DUBOIS, A. and JAHRE, M. **Interdependnece in supply chains and projects in construction**. Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 15 No. 5, pp. 385-93. 2010.

BARRA, B. N.; PASCHOARELLI, L. C.; RENÓFIO, A. **O ecodesign como ferramenta de auxílio na gestão de resíduos de construção e demolição (RCD)**. XIII SIMPEP - Bauru, SP. 2006.

BARRY, J. **Supply chain risk in an uncertain global supply chain environment**. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 34 No. 9, pp. 695-7. 2004.

BAYER, C.; GAMBLE, M.; GENTRY, R.; JOSHI, S. **AIA Guide to Building Life Cycle - Assessment in Practice**. The American Institute of Architects. Washington. 2010.

BEAMON, B. M. **Supply chain design and analysis: models and methods**. International Journal of Production Economics, Amsterdam, v. 55, n. 3, p. 281-294, 1998.

BECKER, D. F. (Org.) et al. **Desenvolvimento sustentável: necessidade e/ou possibilidade?** Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2002.

BECKER, G. V.; LACOMBE, M. B. **Gestão, inovação e competências: conciliando idéias no estudo dos empreendedores de incubadora de base tecnológica.** In: RUAS, R.; ANTONELLO, C. S.; BOFF, L. H. Aprendizagem organizacional e competências. Porto Alegre: Bookman, 2005. p. 166-186.

BEIRIZ, F. A. S. **Um modelo de aplicação da logística reversa na sustentabilidade da indústria da construção.** Tese de Doutorado: Pós-graduação em Engenharia Civil, UFF, Rio de Janeiro, 2010.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2010/Ano base 2009.** Disponível em: www.ben.epe.gov.br/downloads/BEN2007. Acesso em: 22 JULHO DE 2011.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2012/Ano base 2011.** Disponível em: www.ben.epe.gov.br/downloads/BEN2007. Acesso em: 22 JULHO DE 2011.

BENEDET, G. J. **Avaliação de incertezas em inventários do ciclo de vida.** Dissertação de mestrado. Pós graduação de Engenharia ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

BICHLER, M.; KALAGNANAM, J.; KATIRCIOGLU, K.; KING, A. J.; LAWRENCE, R. D.; LEE, H. S.; LIN, G. Y. and LU, Y. **Applications of flexible pricing in business-to-business electronic commerce.** Electronic version, IBM Systems Journal, Vol. 41, pp. 287–302. 2002.

BIDONE, F.R.A. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização.** 1 ed. Rima, Abes, PROSAB. 2001. 240p.

BIDONE, E. D.; CASTILHOS, Z. C.; AZEVEDO, J. **Avaliação socioeconômica de impactos ambientais em estruturas do tipo de Pressão – Condicionamento – Impacto –Resposta (PCIR).** In: Avaliação e contabilização de impactos ambientais. São Paulo, SP: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2004, p. 183 -195.

BIDONE, E. D.; MORALES, P. R. D. **Desenvolvimento Sustentável e Engenharia (Enfoque Operacional).** Rio de Janeiro: Fundação Ricardo Franco, 2004. 260p.

BLUMENSCHHEIN, R. N. **A sustentabilidade na cadeia produtiva na indústria da construção.** CDS, UnB, Tese de Doutorado, Brasília, 2004.

BOONSTRA, C.; PETERSEN, T. D. **Tools for environmental assessment of existing building.** UNEP Industry and Environment, 26 [23], 8083. http://www.uneptie.org/media/review/vol26no23/vol26_no23. 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n. 307**, de 5 de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. 2002. Diário Oficial da União, n. 136, de 17 de julho de 2002, Seção 1, p. 95-96.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n. 431**, de 24 de maio de 2011, que altera o artigo 3º da Resolução nº 307. 2011. Diário Oficial da União, n. 96, de 25 de maio de 2011, p. 123.

BRE - BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **BRE Environmental & Sustainability Standard**. 2008, 327p.

BRE (2006), **EcoHomes – The Environmental Rating for Homes, British Research Establishment**, Watford, available at: www.breeam.org.uk/pdf/KN1744%20EcoHomes%20Leaflet.pdf

BRUNDTLAND REPORT (1987): Information available on line at: <http://www.are.admin.ch/themen/nachhaltig/00266/00540/00542/index.html?lang=en> acessado 07-06-2011.

CALCA. **D20 Blue Paper on Life Cycle Sustainability Analysis**. Co-ordination Action for innovation in Life-Cycle Analysis for Sustainability. <http://www.calcasproject.net/> acessado em 05-08-2011.

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

CAMPOS, C. **Avaliação de desempenho ambiental em projetos: procedimentos e ferramentas**. Dissertação (mestrado). Faculdade de arquitetura e urbanismo da Universidade de São Paulo. 2007.

CARTER, C. R. and JENNINGS, M. M. **The role of purchasing in the socially responsible management of the supply chain: a structural equation analysis**. Journal of Business Logistics, Vol. 25 No. 1, pp. 145-86. 2004.

CARVALHO, P. G. C. A. **Aplicação do Programa SimaPro na Avaliação do Impacto Ambiental causado na Produção e Exploração Offshore de Petróleo**. Projeto Final de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2008.

CASTRO, M. C. **Desenvolvimento sustentável: a genealogia de um novo paradigma**. *Economia e Empresa*. São Paulo, v.3, n.3, p.22-32, 1996.

CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. Relatório, 2009. <http://www.cbcs.org.br/>, acessado dia 21/07/2011.

CEN/TC 350. **Sustainability of construction works e assessment of buildings e part 2: framework for the assessment of environmental performance**. prEN 15643-2:2008. AFNOR, 2008.

CENTRE FOR DESIGN AT RMIT. **Background report LCA Tools, data and application in the building and construction industry.** <<http://buildlca.rmit.edu.au/menu8.html>>; 2001.

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental – www.cetesb.sp.gov.br

CHAFFEY, D. **E-Business and E-Commerce Management.** Pearsons Education Limited, Harlow. 2002.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos – Ferramenta gerencial da ISO 14.000.** Rio de Janeiro: Qualitymark. Ed., 1998. 120p.

CHEN, I. J.; PAULRAJ, A. **Towards a theory of supply chain management: the constructs and measurements.** Journal of Operations Management, v. 22, n. 2, p. 119-150, 2004.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operação.** São Paulo: Prentice Hall, 2004.

CHRISTOPHER, M. and LEE, H. **Mitigating supply chain risk through improved confidence.** International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 34 No. 5, pp. 388-96. 2004.

CIB - INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION - United Nations Environment. **Programme International Environmental Technology Centre UNEP-IETC Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries: A discussion document Boutek Report .** No Bou/E0204, Pretória, CIB/UNEP-IETC. 2002.

CICA -Confederation of International Contractors' Associations- (2002): **Industry as a partner for sustainable development: Construction.** ISBN 92-807-2181-X.

COLE, R. J. **Building environmental assessment methods: redefining intensions and roles.** Building Research & Information, 33[5], 455-467. 2005.

CONSTRUBUSINESS 2010. **9º Seminário Brasileiro da Indústria da Construção Civil.** Disponível em : www2.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=2864. Acessado em 05/06/2010.

CORECON-CE (2011). <http://www.corecon-ce.org.br> – acessado em 21 de julho de 2011.

CORNELI, V. M. **Análise da gestão de resíduos de construção e demolição no município de Campo Mourão/Paraná.** Dissertação de mestrado. Universidade

Estadual de Maringá. Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana. Paraná. 2009.

COUTO, J. P. and MENDONÇA, P. **Deconstruction roles in the construction and demolition waste management in Portugal : from design to site management.** Integrated Waste Management, Volume 1, InTech, Portugal, 2011.

COX, A.; and IRELAND, P. **Managing construction supply chain: The common sense approach.** Engineering, Construction and Architectural Management, 9(5-6), 409-418. 2002.

CRAIG R. C.; DALE S. R. **A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory.** International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 38 Iss: 5, pp.360 – 387. 2008.

CRISP. **A European Thematic Network on Construction and City Related Indicators.** <http://crisp.cstb.fr>. 2004.

CRUZ, L. B.; PEDROZO, E. A.; ESTIVALETE, V. D. F. B. **Towards sustainable development strategies: a complex view following the contribution of Edgar Morin.** Management decision, Inglaterra, v. 44, n.7, p.871-891, 2006.

D'ANGELO, M. J. **Desenvolvimento de competências para a sustentabilidade: Um estudo sobre a gestão de projetos societários sob a perspectiva de grupos.** Dissertação de mestrado. Universidade Presbiteriana Mackenzie. Programa de Pós-Graduação em Administração de Empresas. São Paulo. 2009.

DAMODARAN, A. **Gestão estratégica do risco: uma referência para a tomada de riscos empresariais.** 1º Ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

DANATZKO, J.M. **Sustainable Structural Design.** Master's Thesis. The Ohio State University, 2010.

DAVIS, P. R. **A relationship approach to construction supply chains.** Industrial Management and Data Systems, 108(3), 310-327. 2008.

DE OLIVEIRA, C. N. **O paradigma da sustentabilidade na seleção de materiais e componentes para edificações.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

DE SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo, Brasil, Editora Pini, 1998. 250p.

DEGANI, C. M. **Sistemas de Gestão Ambiental em Empresas Construtoras de edifícios.** EPUSP, 2003.

DEGANI, C. M. **Operação e manutenção** – PCC 2540 - USP (2007). Notas de aula. <http://pcc2540.pcc.usp.br>. Acessado em 15/06/2011.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND HERITAGE. **Project greening the building life cycle: life cycle assessment tools in building and construction (building LCA)**. Australian Government. See also: <<http://buildlca.rmit.edu.au>>; 2001.

DING G. K. C. **Sustainable construction - The role of environmental assessment tools**. Journal of Environmental Management, 86[3], 451464. 2008.

DLUGOKENCKY, E. J., S. HOUWELING, L. BRUHWILER, K. A. MASARIE, P. M. LANG, J. B. MILLER, and P. P. TANS. **Atmospheric methane levels off: Temporary pause or a new steady-state?**, Geophys. Res. Lett., 19: doi:10.1029/2003GL018126. 2003.

DLUGOKENCKY, E.J., L. BRUHWILER, J.W.C. WHITE, L.K. EMMONS, P.C. NOVELLI, S.A. MONTZKA, K.A. MASARIE, P.M. LANG, A.M. CROTWELL, J.B. MILLER, and L.V. GATTI. **Observational constraints on recent increases in the atmospheric CH₄ burden**, Geophys. Res. Lett., 36, L18803, doi:10.1029/2009GL039780. 2009.

DORAN, D.; GIANNAKIS, M. **An examination of a modular supply chain: a construction sector perspective**. Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 16 No. 4, pp. 260-270. 2011.

DOW JONES SUSTAINABILITY INDEXES - 2011, available at: www.sustainability-indexes.com/ (acessado em julho de 2011).

DRUMWRIGHT, M. **Company advertising with a social dimension: the role of noneconomic criteria**. Journal of Marketing, Vol. 60 No. 4, pp. 71-87. 1996.

DYLLICK et al. **Guia da série de normas ISO 14001: sistemas de gestão ambiental**/ tradução : Beate Frank. Blumenau : Edifurb. 2000.

EBRAHIMY, Y.; ABOURIZK, S.; FERNANDO, S.; MOHAMED, Y. **Simulation Modeling and Sensitivity Analysis of a Tunneling Construction Project's Supply Chain**. Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 18 Iss: 5. 2011.

EGAS, L. **Análise pluridimensional da sustentabilidade do ciclo de vida de um sistema estrutural de cobertura em madeira de Pinus**. Caso Assentamento Rural Pirituba II. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

ELKINGTON, J. **Cannibals with forks**. Canada: New Society, 1999.

ELKINGTON, J. **Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of the 21st Century**, New Society Publishers, Stoney Creek, CT. 1998.

ELKINGTON, J. **Enter the triple bottom line**. In Henriques, A. and Richardson, J. (Eds), *The Triple Bottom Line: Does It All Add up?*, Earthscan, London, pp. 1-16. 2004.

ERLANDSSON, M.; BORG, M. **Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services – today practice and development needs**. Build Environ, 2003.

ERLICH, P.R. and ERLICH, A.H. **The Population Explosion**, Touchstone, New York, NY. 1991.

ESI, Environmental Sustainability Index. **An initiative of the global leaders of tomorrow environmental task force**. (In collaboration with: Yale Center for Environmental Law and Policy Yale University and Center for International Earth Science Information Network Columbia University) 2002.

EU 6th Framework Co-ordination Action for innovation in Life-Cycle Analysis for Sustainability - <http://www.calcasproject.net/>

FAVA, J. A. **Why take a life cycle approach?**. (2004): United Nations Publication. ISBN: 92-807-24500-9. Information available on line at: <http://jp1.estis.net/sites/lcinit> Acessado em 18 de julho.

FINKBEINER, M.; INABA, A.; TAN, R. B. H.; CHRISTIANSEN, K.; KLUPPEL, H. J. **The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044**. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. V. 22, n. 2, p. 80-85. 2006.

FLORBY, H.; JUSTAD, M. **International Logistics: Realizing the coherence between efficient logistics strategy and international growth**. *International Business Strategies*. Master level, Spring. 2008.

FORSBERG, A.; VON MALMBORG, F. **Tools for environmental assessment of the built environment**. Build Environ, 2004.

FÓRUM GLOBAL DA CADEIA DE SUPRIMENTOS.
<http://www.fisher.osu.edu/centers/scm/executive-briefings>

FRIEDMAN, T.L. **The World is Flat**, Farrar, Strauss and Giroux, New York, NY. 2005.

FRISCHKNECHT R., JUNGBLUTH N., ALTHAUS H.-J., BAUER C., DOKA G., DONES R., HISCHIER R., HELLWEG S., HUMBERT S., KÖLLNER T., LOERINCIK

Y., MARGNI M. AND NEMECEK T. **Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods**. Ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2007.

FURNAS. **Caderno de Energia**. Eletrobrás, Furnas. 2010. Disponível em: <http://www.furnas.com.br/arcs/pdf/Caderno%20da%20Energia.pdf>. Acesso: 24 de maio de 2012.

GARCIA, J. P.; LIPPKE, B.; BRIGGS, B.; WILSON, J. B.; BOWYER, J.; and MEIL, J. **Environmental Performance of Renewable Building Materials in The Context of Residential Construction**. Wood and Fiber Science, 37 Corrim Special Issue, 3 - 17. 2005.

GEHLEN, J. **Construção da sustentabilidade em canteiros de obra: um estudo no Distrito Federal**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, 2008.

GELINSKI, G.; PAIVA, C. **ArcoWeb – Centro de pesquisas Petrobrás – CENPES**. 2006. <http://arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia76.asp>

GERVÁSIO, HELENA. **Comparative housing case study (steel vs. Concrete) through a quantitative Life Cycle Approach**. World Steel Construction Council 2nd meeting. Paris, 5th and 6th November 2007

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. – 9. reimpr. São Paulo: Atlas, 2007.

GIUNIPERO, L. C. and ELTANTAWY, R. A. **Securing the upstream supply chain: a risk management approach**. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 34 No. 9, pp. 698-713. 2004.

GLOBAL CONSTRUCTION, 2011. <http://www.globalconstruction2020.com/>

GODARD, O. **Environnement Soutenable et Développement Durable: Le modèle néo-classique en question**. Paris: Environnement et société 91- CIRED. 1991.

GO'NCZ, E.; SKIRKE, U.; KLEIZEN, H. and BARBER, M. **Increasing the rate of sustainable change: a call for a redefinition of the concept and the model for its implementation**. Journal of Cleaner Production, Vol. 15 No. 6, pp. 525-37. 2007.

GREEN, S.; FERNIE, S.; WELLER, S.; **Making sense of supply chain management: a comparative study of aerospace and construction**. Construction Management and Economics, 23, 579-593. 2005.

HAPIO, A. **Environmental Assessment of Buildings**. Doctoral Thesis. 2008. Helsinki University of Technology. <http://lib.tkk.fi/Diss/2008/isbn9789512295043/>

HAAVELMO, T.; HANSEN, S. **On the strategy of trying to reduce economic inequality by expanding the scale of human activity.** In: GOODLAND, R. et al. Environmentally sustainable economic development: building on Brundtland. Paris: UNESCO, 1991. p. 41-50.

HART, S. L. **A natural-resource-based view of the firm.** Academy of Management Review, Vol. 20 No. 4, pp. 986-1014. 1995.

HAUSCHILD, M. Z. **Assessing environmental impacts in a life-cycle perspective.** Environmental Science & Technology. 39(4): p. 81-88. 2005.

HENRIQUES, A. C. R. **Metodologia para cálculo das emissões de Gases de efeito de estufa associadas a edifícios.** Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa. Portugal. 2008.

HENRIQUES, A. and RICHARDSON, J. **The Triple Bottom Line: Does It All Add Up?**, Earthscan, London. 2004.

HERTWICH, E. G. **Life cycle approaches to sustainable consumption: a critical review.** Environ Sci Technol, 2005.

HEWLETT PACKARD. **Global Citizenship Report.** Hewlett Packard Development Company, Palo-Alto, CA. 2006.

HISCHIER R., WEIDEMA B., ALTHAUS H.-J., BAUER C., DOKA G., DONES R., FRISCHKNECHT R., HELLWEG S., HUMBERT S., JUNGBLUTH N., KÖLLNER T., LOERINCIK Y., MARGNI M. AND NEMECEK T. **Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods.** Ecoinvent report No. 3, v2.2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf. 2010.

HISCHIER, R.; UGAYA, C. M. L.; SILVA, G. A.; LAMB, C. M. S. R.; RODRIGUES, D. **Capacity building in life cycle inventory database establishment: Lessons learned in the real world.** Madrid: Aenor, p. 203-214, 2009.

HISTORIC BOSTON INC. **Rehabilitation vs Demolition: Looking for the Cold, Hard (Green) Facts.** 2010. <http://www.historicbostonblog.org/2010/04/rehabilitation-vs-demolition-looking.html>. Acessado em 20/08/2011.

<http://bairronovolaguna.blogspot.com/2010/05/bedzed-um-bairro-que-e-exemplo-e.html>

<http://www.dicionariodoaurelio.com/>

HUGOS, M. **Essentials of supply chain management.** John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey. 2003.

HUGOS, M. **Essentials of the Supply Chain Management**, 2nd ed., Wiley, Hoboken, NJ. 2006.

IBM. **IBM's 2005 Innovations in Corporate Responsibility**, IBM Corporation, Armonk, NY. 2005.

IBRAM. **Informações e análises da economia mineral brasileira**. Instituto Brasileiro de Mineração. 6a edição, 28p, 2011.

IMOVELWEB. **Informalidade na indústria da construção é de 60,8%**. www2.imovelweb.com.br/noticias/mercado-imobiliario/Informalidade-na-industria-da-construcao. acessado em 20/05/2011.

INÁCIO, C. A. C. **Seleção de materiais com base na metodologia de Life Cycle Engineering: caso de estudo uma mola da roupa**. Dissertação de mestrado. Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2009.

IPCC, 2011: **IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1075 pp.

ISO: International Organization for Standardization. **Environmental Management: The ISO 14000 Family of International Standards**. ISO Central Secretariat. 2009.

ISO: International Organization for Standardization. International Standard ISO 14040: **Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework**. Geneva. Switzerland. 2006.

ISO: International Organization for Standardization. International Standard ISO 14043: **Environmental management - Life cycle assessment – Life cycle interpretation**. Geneva. Switzerland. 2000.

ISO: International Organization for Standardization. International Standard ISO 14044: **Environmental management - Life cycle assessment – Requirements and guidelines**. Geneva. Switzerland. 2006.

ISO/TR 14049 – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Environmental Management – life cycle assessment – Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis**. Genève, 2000c (Technical report). 43p.

ISO/DTR 14047 – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Illustrative examples on how to apply ISO 14042 – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment**. Kuala Lumpur, 2001 (Draft Technical Report). 86p.

ISO/DTR 14048 – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Environmental Management – Life cycle assessment – LCA data documentation format**. Kuala Lumpur, 2002 (Draft Technical Report). 52p.

ITC. **Relatório anual de obras 2010**. Inteligência Empresarial da Construção. 2010. Disponível em: http://www.itc.etc.br/ExtrasITC/2011/relatorio_%20de_obras%20anual_2010_alt.pdf

IUCN; UNEP; WWF. **The World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development**. International Union for Conservation of Nature (IUCN), United Nations Environment Programme (UNEP) and World Wide Fund for Nature (WWF), Gland, Switzerland, 1980.

JENNINGS, P. D. and ZANDBERGEN, P. A. **Ecologically sustainable organizations: an institutional approach**. Academy of Management Review, Vol. 20 No. 4, pp. 1015-52. 1995.

JENNINGS, P. D. and ZANDBERGEN, P. A. **Ecologically sustainable organizations: an institutional approach**. Academy of Management Review, Vol. 20 No. 4, pp. 1015-52. 1995.

JIANG, A.; O'BRIEN, W.; and ISSA, R. **Construction supply chain performance management**. Int. Conf. on Comput. in Civ. Eng., ASCE, Cancun, México. 2005.

JOHN V. M.; AGOPYAN V.; ABIKO A. K.; PRADO R. T. A.; GONCALVES O. M.; SOUZA U. E. **Agenda 21 for the Brazilian Construction Industry—a Proposal**. Construction and Environment: From Theory into Practice, São Paulo, CIB/PCC USP, 2000.

JOHN,V.M. **Reciclagem de resíduos na construção: uma contribuição a metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Escola Politécnica, USP, 2000. (Tese de Livre Docência).

JUNIOR, R. C.; MORAES, R. S.; FONTENELLE, M. A. M. **Estudo comparativo brasil e espanha: construção sustentável e habitação**. In: IJIE – Iberoamerican Journal of Industrial Engineering. Universidade Federal de Santa Catarina. 2011.

KAHNEMAN, D. and TVERSKY, A. **Prospect theory: an analysis of decisions under risk**. Econometrica, Vol. 47, pp. 262-91. 1979.

KARIM, K.; MAROSSZEKY, M.; Davis, S. **Managing subcontractor supply chain for quality in construction**. Engineering, Construction and Architectural Management, 13(1), 27-42. 2006.

KEWILL SYSTEMS PLC. **E-Fulfillment Execution – Business Briefing**. Electronic version, Surrey. 2000.

KLEIN, S. E. S. **Diretrizes de gestão ambiental na indústria da construção civil de edificações.** Dissertação (mestrado). Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Centro de Ciências Tecnológicas, da Universidade Regional de Blumenau – FURB. 2002.

KNIGHT, F.V. **Risk, Uncertainty and Profit.** Houghton Mifflin Company, Boston, 1921.

KOKKINAKI, A. I.; DEKKER, R.; VAN N. J. and PAPPIS, C. **Integrating a Web-based System with Business Processes in Closed Loop Supply Chains.** Electronic version, Econometric Institute Report Series, EI2001-31, Erasmus University Rotterdam, pp. 1-30. 2001.

KOTAJI, S.; SCHUURMANS, A.; EDWARDS, S. **Life-cycle assessment in building and construction: a state-of-the-art report.** Pensacola, USA: SETAC Press; 2003.

LAL, R.; HANSEN, D. O.; UPHOFF, N. and SLACK, S. A. **Food Security and Environmental Quality in the Developing World.** CRC Press, Boca Raton, FL. 2002.

LAMBERT, D. M.; COOPER, M. C. **Issues in Supply Chain Management. Industrial Marketing Management**, vol.29, nº1, pp65-83, January 2000.

LAMBERT, D. M.; CROXTON, K. L.; GARCIA-DASTUGUE, S. J.; KNEMEYER, M. and ROGERS, D. S. **Supply Chain Management Processes, Partnerships, Performance**, 2nd ed., Hartley Press Inc., Jacksonville, FL. 2006.

LARSSON, N. **Sustainable building information systems (SBIS).** <<http://www.sbis.info/about.jsp>>; 2006.

LIMA, A. M. F. **Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil: inserção e perspectivas.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia. Salvador, Bahia. 2007.

LIMA, F. L. N. **Proposição de metodologia de avaliação do impacto ambiental no desenvolvimento de projetos arquitetônicos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Belo Horizonte, Minas Gerais. 2006.

LIMMER, C. V. **Planejamento, Orçamentação e Controle de Projetos e Obras.** Rio de Janeiro, Livros e Técnicos e Científicos, 1997. 225 p.

LOVE, P.; IRANI, Z. and EDWARDS, D. **A seamless supply chain management model for construction.** Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 9 No. 1, pp. 43-56. 2004.

MALMQVIST, T.; GLAUMANN, M.; SCARPELLINI, S.; ZABALZA, I.; ARANDA, A.; LLERA, E.; DÍAZ, S. **Life cycle assessment in buildings: The ENSLIC simplified method and guidelines**. ScienceDirect - Energy 36, 2011, pg 1900 a 1907.

MARCONDES, F. C. S. **Sistemas logísticos reversos na indústria da construção civil – estudo da cadeia produtiva de chapas de gesso acartonado**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2007.

MDIC (Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior) – **relatório de 2004**. <http://www.mdic.gov.br>

MDIC (Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior) – **relatório de 2006**. <http://www.mdic.gov.br>

MELO, G. S. de; LEÃO, M. M. D.; SOUZA, D. M. de. **Metodologias de avaliação de impacto do ciclo de vida - um estudo comparativo**. In: I Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida. Curitiba, 2008.

MENEZES, G. S.; SERRA, S. M. B. **Análise das áreas de vivência em canteiros de obra**. III Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção – III SIBRAGEC. UFScar, São Carlos, SP, 16 a 19 de setembro de 2003. Acessado em 12.08.11. www.deciv.ufscar.br/sibragec/trabalhos/artigos/119.pdf

MENTZER, J. T.; DEWITT, W.; KEEBLER, J. S.; MIN, S.; NIX, N. W.; SMITH, C. D. and ZACHARIA, Z. G. **Defining supply chain management**. Journal of Business Logistics, Vol. 22 No. 2, pp. 1-25. 2002.

MIN, J.; BJORNSSON, H. **Agent-based construction supply chain simulator (CS2) for measuring the value of real-time information sharing in construction**, ASCE Journal of Management in Engineering, 24(4), 245-255. 2008.

MONTIBELLER; G. **O mito do desenvolvimento sustentável: meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtos de mercadorias**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2004.

MONTZKA, S. A., E. J. DLUGOKENCKY, and J. H. BUTLER. **Non-CO2 greenhouse gases and climate change**, Nature, 476, 43-50. 2011.

MOTTA, R. S. da. **Indicadores ambientais no Brasil: aspectos ecológicos, de eficiência e distributivos**. Texto para discussão nº 403. ISSN 1415-4765 Rio de Janeiro – RJ –IPEA, 1996.

MOTTA, S. R. F. **Sustentabilidade na construção civil: crítica, síntese, modelo de política e gestão de empreendimentos**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

NASCIMENTO, J. D. **O Índice de Sustentabilidade Ambiental do uso da Água (ISA) como ferramenta de contribuição às Políticas Públicas de desenvolvimento e conservação na bacia do rio Bacanga.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas, 95 folhas, Universidade Federal do Maranhão, São Luís/MA 2010.

NASH, S.J. **Cost, Uncertainty, and Welfare: Frank Knight's Theory of Imperfect Competition.** Ashgate. 1998.

NEELY, A.; GREGORY, M.; PLATTS, K. **Performance measurement system design: a literature review and research agenda.** International Journal of Operations and Production Management, Bradford, v. 25, n. 12, p. 1228-1263, 2005.

NIKE. **Nike Corporate Social Responsibility Report 2004,** Nike, Beaverton, OR. 2005.

NOAA Earth System Research Laboratory. **THE NOAA ANNUAL GREENHOUSE GAS INDEX (AGGI) - 2011.** www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi. Acessado em 20 de julho de 2011.

Norma regulamentadora – NR 18. **Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção.** Ministério do Trabalho e Emprego, Brasil, 2010.

OH, D.Y; GONÇALVES, V.C; MIKOS, W.L. **Análise da situação da destinação dos resíduos sólidos oriundos da construção civil em Curitiba e Região Metropolitana.** In: XXIII ENCONTRO NAC. DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO-Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de out de 2003.

OLIVEIRA, A. S. **Análise ambiental da viabilidade de seleção de produtos da construção civil através da ACV e do software BEES 3.0.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

ONU: <http://www.un.org/en/>

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. **Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA.** Available online at www.sciencedirect.com. Construction and Building Materials 23 (2009) 28–39.

ORTIZ-RODRÍGUEZ, O. O. **Sustainability assessment within the residential building sector: A practical life cycle method applied in a developed and a developing country.** Tese de Doutorado. Universitat Rovira i Virgili. 2009.

PALANEESWARAN, E.; KUMARASWAMY, M. and THOMAS, S. **Formulating a framework for relationally integrated construction supply chain.** J. Const. Research, 4(2), 189-205. 2003.

PASQUALI, I. S. R. **ACV em auxílio ao gerenciamento ambiental dos resíduos sólidos de construção e demolição civil de Santa Maria / RS**. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria. Dissertação (Mestrado), 2005.

PCC 2540 – O edifício e o ambiente – USP (2004). Notas de aula. <http://pcc2540.pcc.usp.br>. Acessado em 15/06/2011.

PE International. 2011. **GaBi modelling principles**. http://documentation.gabi-software.com/sample_data/external_docs/GaBi_Modelling_Principles.pdf.

PEREIRA, S. W. **Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos. Aplicação de avaliação do ciclo de vida**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis, Santa Catarina. 2004.

PETER N. **Sustainable Construction: Comparison of Environmental Impacts Due to Off-Site vs. On-Site Construction**. Master of Science – Department of Civil & Environmental Engineering. University of Cincinnati. 2008.

PHILIPPI Jr. A. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Manole, Barueri – SP. 2005.

PINTO, T. P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. São Paulo: EPUSP, 1999.

PINTO, T.P. **A nova legislação para resíduos de construção**. Revista Técnica. São Paulo, p. 62-64, Janeiro de 2004.

PIRES, S. R. I. **Gestão da cadeia de suprimentos (Supply Chain Management): conceitos, estratégias, práticas e casos**. São Paulo: Atlas, 2004.

PITT, M; TUCKER, M.; RILEY, M. and LONGDEN, J. **School of Built Environment**, Liverpool John Moores University, Liverpool, UK. *Construction Innovation* Vol. 9 No. 2, 2009 pp. 201-224.

PORTER, M. E. and KRAMER, M. R. **Strategy and society: the link between competitive advantage and corporate social responsibility**. *Harvard Business Review*, Vol. 84 No. 12, pp. 78-92. 2006.

PORTER, M. E. and KRAMER, M. R. **The competitive advantage of corporate philanthropy**. *Harvard Business Review*, Vol. 80 No. 12, pp. 56-68. 2002.

PORTER, M. E. and VAN D. L. C. **Green and competitive: ending the stalemate**. *Harvard Business Review*, Vol. 73 No. 5, pp. 120-34. 1995.

PORTER, M. **Vantagem competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência**. Nona edição, Rio de Janeiro: Campus, 1991.

PRADO, M. R. **Análise do inventário do ciclo de vida de embalagens de vidro, alumínio e pet utilizadas em uma indústria de refrigerantes no Brasil**. Tese (Doutorado). Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2007.

PROCTER AND GAMBLE. **Life cycle impacts assessment (LCIA). End points versus mid points**. <http://www.scienceinthebox.com/en_UK/sustainability/lcia_en.html>; 2005. Acessado em 05-08-2011.

PUSHCHAK, R.; ROCHA, C. **Failing to site hazardous waste facilities voluntarily: implications for the production of sustainable goods**. Journal of Environmental Planning and Management 1998; 41:25_/43.

RAJAGOPALAN, N. **Environmental life-cycle assessment of highway construction projects**. Master of Science. Texas A&M University. 2007.

RAMP. Institute of Civil Engineers and the Faculty and Institute of Actuaries. 1998.

REDCLIFT, M. **Reflections on the sustainable development debate**. International Journal of Sustainable Development and World Ecology 1994; 1:3_/21.

REIJNDERS, L. **A normative strategy for sustainable resource choice and recycling**. Resources, Conservation and Recycling 2000; 28:121_/33.

RIBAMAR, J. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramentas gerenciais da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 104 p, 1997.

RIBEIRO, F. M. **Inventário de ciclo de vida da geração hidrelétrica no Brasil - Usina de Itaipu: primeira aproximação**. Programa de interunidades de Pós-graduação em energia da Universidade de São Paulo. Dissertação (Mestrado). 2003.

RIBEIRO, P. H. **Modelagem de sistemas de produto em estudos de avaliação do ciclo de vida – ACV**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

RIBEIRO, P. H. **Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química. 2009.

RIVERA-CAMINO, J. **Re-evaluating green marketing strategy: a stakeholder perspective**. European Journal of Marketing, Vol. 41 Nos 11/12, pp. 1328-58. 2007.

RODRIGUES, V. V. **Aumento da precisão dos orçamentos estimativos de empreendimentos imobiliários utilizando o método de Monte Carlo.** Tese (Doutorado em engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense. 218f, 2006.

RODRIGUES, C. R. B.; ZOLDAN, M. A.; LEITE, M. L. G.; OLIVEIRA, I. L. **Sistemas computacionais de apoio a ferramenta análise de ciclo de vida do produto (ACV).** In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia De Produção. RJ. 2008.

ROTTA, M. A. **Processo de estruturação de sistema de mensuração de desempenho numa cadeia de suprimentos: um caso de aquacultura continental.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de pós-graduação em agronegócios. 2009.

SABBATINI, F. H. **O conceito de vida útil e sua aplicação na construção de edificações.** In: XV COBREAP, São Paulo, 2009.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente.** São Paulo: Livros Studio Nobel, 1993.

SARKIS, J. **Manufacturing's role in corporate environmental sustainability.** International Journal of Operations & Production Management, Vol. 21 Nos 5/6, pp. 666-86. 2001.

SAVITZ, A. W. and WEBER, K. **The Triple Bottom Line,** Jossey-Bass, San Francisco, CA. 2006.

SCHECHTMAN, R. **Análise de Risco Ambiental em atividades de exploração (perfuração) e produção de petróleo.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 123p. 2006.

SETAC. **Society of Environmental Toxicology and Chemistry.** <http://www.setac.org/>

SHAN-SHAN, C.; LO, C. W. H. **Evaluating sustainability in waste management: the case of construction and demolition, chemical and clinical wastes in Hong Kong.** Department of Management, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Hong Kong, People's Republic of China. Received 10 January 2002; accepted 31 May 2002.

SHRIVASTAVA. **Ecocentric management for a risk society.** Academy of Management Review, Vol. 20 No. 1, pp. 118-37. 1995.

SILVA, S. M. **Indicadores de sustentabilidade urbana: as perspectivas e as limitações da operacionalização de um referencial sustentável.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2000.

SILVA, G.A.; RIBEIRO, P.H.; KULAY, L.A. **Avaliação do Desempenho Ambiental dos Fertilizantes Químicos no Brasil**. In: XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2006, Santos. Anais. São Paulo, 2006. 12 p.

SOARES, S. R.; SOUZA, D. M.; PEREIRA, S. W. **A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil**. In: Coletânea Habitare, vol.7, Construção e Meio Ambiente. 2006.

SONNEMANN, Guido (project officer). JENSEN, Allan Astrup; REMMEN, Arne. **Background report for a UNEP guide to Life Cycle Management – A bridge to sustainable products**. 2005. 108 p.

STARIK, M. and RANDS, G. P. **Weaving an integrated web: multilevel and multisystem perspectives of ecologically sustainable organizations**. Academy of Management Review, Vol. 20 No. 4, pp. 908-35. 1995.

STULTZ, R. **Rethinking risk management**. Journal of Applied Corporate Finance, Vol. 9 No. 3, pp. 8-24. 1996.

TAKAOKA, M. V. **Ativos para a geração de renda mensal de longo prazo: fatores preponderantes para a decisão de investimento, expectativas dos investimentos e ferramentas de avaliação**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2009.

TAROKH, M. J.; SHOOSHTARI, D. F. **Supply chain strategic management using transformed balanced Scorecard**. In: IEEE International Engineering Management Conference, 2005, New York. Anais: IEEE, 2005.

TELFORD, T. **Risk Analysis and Management for Projects**. London.

TESSARO, A. B.; SA, J. S. and SCREMIN, L. B. **Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS**. Ambient. constr. [online]. 2012, vol.12, n.2, pp. 121-130. ISSN 1678-8621. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212012000200008>.

The Brundtland Report. Oxford University Press, 1987. 43p.

THE SUSTAINABILITY CONSTRUCTION TASK GROUP. **Making the most of Our Built Environment** (2004). Acessado em: www.dti.gov.uk/construction/sustain/making_the_most.pdf (acessado 26 de julho de 2010).

TOMMELEIN, I. D.; AKEL, N. and BOYERS, J. C. **Capital projects supply chain management: SC tactics of a supplier organization**. Const. Research Cong., ASCE, Honolulu, Hawaii. 2003.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. **A sustentabilidade dos materiais de construção**. 1ª ed. 400p. Editora: TECMINHO, 2010, Portugal.

TRAJANO, L. **Avaliação do ciclo de vida dos produtos derivados do cimento para habitações de interesse social**. Dissertação (Mestrado). Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade de Pernambuco, 2010.

TRINIUS, W. **Environmental Assessment – Implementation in the Building Sector**. Licentiate of Engineering Thesis, Stockholm 1998.

UGAYA, C. M. L. **Teaching LCA in a Mechanical Engineering Course in Brazil**. In: Engineering Education in Sustainable Development 2008 Conference, 2008, Graz.

UNEP. **Sustainable building and construction initiative: information note**. Industry and environment (2006): Vol 26. N 2-3. Information available on line at: http://www.unep.org/pc/pc/SBCI/SBCI_2006_InformationNote.pdf acessado em julho de 2011.

UNEP. **Global Guidance Principles for life cycle assessment databases - A Basis for Greener Processes and Products**. United Nations Environment Programme. 2011. 158p.

USGBC – UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL LEED. **Green Building Rating System for New Constructions & Major Renovations (LEED – NC)**. Versão 2.2. Oct. 2005. 78p.

VAIDYANATHAN, K., and O'BRIEN, W. **Opportunities for IT to support the construction supply chain**. Int. Conf. on Comput. in Civ. Eng., ASCE, Cancun, Mexico. 2005.

VALVERDE, F.M. **Agregados para construção civil**. Anepac. São Paulo, 6p. 2006.

VIANA, M. M. **Inventário do ciclo de vida do biodiesel etílico do óleo de girasol**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.

VIDALAKIS, C.; TOOKEY, J. E.; SOMMERVILLE, J. **Logistics simulation modelling across construction supply chains**. Construction Innovation: Vol. 11 No. 2, pp. 212-228. 2011.

VINCOLI, J. W. **Basic guide to system safety**. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. Published simultaneously in Canada. 2nd ed. 2006.

VISÃO AMBIENTAL. **Especial RCD**. Caderno de resíduos, Ano 1, número 3, 2009.

UGAYA, C. M. L. **Análise de Ciclo de Vida: estudo de caso para materiais componentes automotivos no Brasil.** Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, 2001.

WANG, L.; Lin, Y.; Lin, P. **Dynamic mobile RFID-based supply chain control and management system in construction.** Advanced Engineering Informatics, 21, 377-390. 2007.

WCED – World commission on Environment and Development. **Our Common future.** 1987.

WHITEMAN, G. and COOPER, W. H. **Ecological embeddedness.** Academy of Management Journal, Vol. 43 No. 6, pp. 1265-82. 2000.

WISEMAN, R.M. and GOMEZ-MEJIA, L.R. **A behavioral agency model of managerial risk taking.** Academy of Management Review, Vol. 23 No. 1, pp. 133-53. 1998.

www.elsevier.com/locate/conbuildmat

YUBA, A. N. **Análise da pluridimensionalidade da sustentabilidade da cadeia produtiva de componentes construtivos de madeira de plantios florestais.** Tese de doutorado em ciências da engenharia ambiental. Escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2005.

ZACHARIAS, L. D. **Estratégia de produção em cadeia de suprimentos: estudos de caso em pequenas empresas da construção civil.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de São Carlos. 2010.

ZAPPAROLI, I. D.; DA SILVA, S. S. **Desenho da Metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do Etanol Combustível pelo Método CML 2000 com SimaPRO.** 3rd International Workshop | Advances in Cleaner Production: Cleaner production initiatives and challenges for a sustainable world. São Paulo, 2011.

ZHANG, Z.H.; SHEN, L.Y.; LOVE, P. E. D. and TRELOAR, G. **A framework for implementing ISO 14000 in construction.** Environmental Management and Health, Vol. 11, pp. 139-48. 2000.

ZIMMER, E. R. **Improving lean supply chain management in the construction industry.** Master of science. University of Cincinnati. 2006.

ZIMMERMANN, M.; ALTHAUS, H. J. and HAAS, A. **Benchmarks for sustainable construction – A contribution to develop a standard.** Energy and Buildings. 2005. 37(11): p. 1147-1157.

ZSIDISIN, G.A. **Managerial perceptions of supply risk.** Journal of Supply Chain Management, Vol. 39 No. 1, pp. 14-25. 2003.

ZSIDISIN, G.A.; PANELLI, A. and UPTON, R. **Purchasing organization involvement in risk assessments, contingency plans, and risk management: an exploratory study.** Supply Chain Management, Vol. 5 No. 4, pp. 187-98. 2000.